

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Telemetrie v poláriu  
Telemetry in polarium

2015

Filip Rumel

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

## Zadání bakalářské práce

Student: **Filip Rumel**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3901R039 Biomedicínský technik  
Téma: Telemetrie v poláriu  
Telemetry in Polarium

### Zásady pro vypracování:

Cílem bakalářské práce je realizace systému pro telemetrii dat z polária. V praktické části je to pak sestavení řetězce, který umožňuje přenášet data ze senzorů potřebných k udržení životních podmínek pro delší dobu pobytu v poláriu.

V souhrnu je práce charakterizována těmito body:

1. Rešerše měření za extrémně nízkých teplot.
2. Návrh a realizace řetězce pro přenos dat.
3. Implementace řídicího programu.
4. Test přenosu dat za zadaných podmínek.
5. Zhodnocení dosažených výsledků.

### Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] HEYDON, Robin. *Bluetooth Low Energy: The Developer's Handbook*. 1st ed. Prentice Hall, 2012. ISBN 978-0132888363.
- [2] HUNN, Nick. *Essentials of Short-Range Wireless (The Cambridge Wireless Essentials Series)*. 1st ed. Cambridge University Press, 2010. ISBN 978-0521760690.
- [3] PUŽMANOVÁ, Rita. *Moderní komunikační sítě od A do Z*. 2. vyd. Praha: Computer Press, 2006. ISBN 978-8025112786.
- [4] BRTNÍK, Bohumil a David MATOUŠEK. *Mikroprocesorová technika - Práce s mikrokontroléry řady ATMEL AVR ATXmega A4 - ATXmega16*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2011. ISBN 978-80-7300-406-4.
- [5] DOLEČEK, Jaroslav. *Moderní učebnice elektroniky - 3. díl*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-184-5.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Slanina, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
*vedoucí katedry*



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
*děkan fakulty*

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

v Ostravě, dne: 6.5.2015

Podpis: .....

## Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Zdeňkovi Slaninovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

## **Abstrakt bakalářské práce**

Tato bakalářská práce se zabývá monitorováním vitálních funkcí v poláriu. Cílem je navržení a sestavení zařízení, které umožňuje měřit data pomocí senzorů a přenášet je do počítače s následným zobrazením. Jelikož experiment byl aplikován pro delší pobyt v poláriu, měří se veličiny jako teplota, koncentrace oxidu uhličitého a vlhkost v obleku, společně s jedním senzorem teploty umístěným v kryokomoře. Práce nejprve popisuje základy kryoterapie. Dále postupuje teoretickým rozborem měření jednotlivých veličin až po přenos dat pomocí technologie Bluetooth. V praktické části je to popis vybraných senzorů a jejich funkce, implementace řídicího programu a test celého zařízení.

Klíčová slova: senzor teploty, senzor vlhkosti, senzor koncentrace oxidu uhličitého, polárium, telemetrie

## **Abstract of the thesis**

This bachelor thesis deals with monitoring of vital signs in polarium. The aim is to design and build a device capable of measuring data using sensors and transmit them to a computer with subsequent viewing. Since the experiment is performed for long-term residence of a person in polarium, there are measured variables such as temperature, carbon dioxide concentration and moisture in a suit, with one temperature sensor disposed in the cryochamber. First, theoretical part describes the basics of cryotherapy, then deals with various quantities and their measurement capabilities and ends with data transfer using Bluetooth technology. In the practical part it is a description of selected sensors and their functions, implementation of the control program and test the entire installation.

Key words: temperature sensor, humidity sensor, carbon dioxide concentration sensor, polarium, telemetry

## Seznam použitých symbolů a zkratek

ADC	analog-to-digital converter
AFH	adaptive Frequency Hopping
$CO_2$	oxid uhličitý
CSV	comma-separated values
DQPSK	differential quadriphase shift keyin
EDR	enhanced data rate
FHSS	frequency-hopping spread spectrum
GFSK	Gaussian frequency-shift keying
HDMI	high-definition multi-media interface
IEC	international electrotechnical commission
IO	integrovaný obvod
IrDA	Infrared Data Association
ISM	industrial, scientific and medical
$I^2C$	inter-integrated circuit
LED	light-emitting diode
PAN	personal area network
PIN	personal identification number
PSK	phase shift keying
RH	relative humidity
RS232	recommended standard 232
SI	Le <b>S</b> ystème <b>I</b> nternational d'Unités
SMD	surface mount device
USB	universal serial bus
WiFi	wireless fidelity
GHz	gigahertz
Kbit/s	kilobit za sekundu
MB/s	megabit za sekundu
nm	nanometr
ppm	parts per milion
$\mu$ S	mikrosekunda



## Obsah

1.	Úvod.....	1
2.	Kryoterapie.....	2
2.1	Historie léčby chladem.....	2
2.2	Lokální kryoterapie .....	3
2.3	Celotělová kryoterapie .....	3
2.3.1	Fyziologické procesy provázející kryoterapii .....	4
2.3.2	Kryokomora .....	5
3.	Fyzikální veličiny a plyny .....	6
3.1	Teplota vzduchu .....	6
3.1.1	Senzory teploty.....	7
3.2	Vlhkost vzduchu.....	7
3.2.1	Senzory vlhkosti.....	8
3.3	Oxid uhličitý.....	9
3.3.1	Měření oxidu uhličitého .....	10
4.	Měření velmi nízkých teplot .....	12
4.1	Odporové kovové senzory teploty.....	12
4.1.1	Platinové odporové senzory .....	12
4.1.2	Niklové odporové senzory .....	14
4.1.3	Měděné odporové senzory.....	15
4.1.4	Přesnost měření teploty odporovými snímači .....	15
4.2	Termoelektrické teploměry .....	16
5.	Telemetrie .....	18
5.1	Bluetooth.....	19
5.1.1	Maximální rychlost a dosah .....	20
5.1.2	Bezpečnost .....	21
6.	Návrh a realizace systému.....	22
6.1	Napájení měřicího zařízení.....	23
6.2	Deska plošného spoje .....	23
6.3	Realizace částí pro telemetrii .....	24

6.3.1	Senzor teploty.....	24
6.3.2	Senzor vlhkosti.....	27
6.3.3	Senzor oxidu uhličitého.....	28
6.3.4	Bezdrátový přenos dat.....	29
6.4	Implementace řídicího programu .....	30
6.4.1	Rozhraní DS18B20 .....	31
6.4.2	Analogový-Digitální převod.....	34
6.4.3	Nastavení sériového portu .....	37
6.5	Uživatelské rozhraní.....	38
7.	Test přenosu dat .....	39
8.	Závěr .....	43
	Seznam použité literatury .....	44
	Seznam příloh.....	46

# 1. Úvod

Cílem této práce je realizace systému pro telemetrii dat z polária. Zařízení by mělo být schopné měřit veličiny pro kontrolu podmínek uvnitř polária, kde by realizátor experimentu měl přebývat po delší dobu až několika hodin.

Teoretická část práce se zabývá samotnou kryoterapií a vlivem kryoterapie na organismus. Uvádí se rozdíl mezi lokální a celotělovou terapií i informaci o samotném poláriu. Dále jsou popsány jednotlivé veličiny jako teplota, vlhkost a koncentrace oxidu uhličitého a jejich možnosti měření. Jelikož experimentátor bude mít v poláriu speciální oblečení a příkrývky, měří se tyto veličiny uvnitř obleku, aby se ujistilo, zda jsou podmínky v poláriu pro člověka bez újmy na zdraví. Teplota se měří na pěti různých místech. Jedna se měří uvnitř krabičky zařízení, další se měří na třech různých částech těla, aby se ujistěovalo, že některá část těla se nezačíná ochlazovat, poslední senzor je umístěný mimo oblek v poláriu. Tato oblast měření dosahuje teplot až  $-120^{\circ}\text{C}$ , z toho důvodu bylo třeba zvolit senzor, který tyto teploty dokáže měřit. Proces měření za extrémně nízkých teplot je popsán v další části teoretického rozboru práce. Závěrem se teoretická část zabývá možnostmi přenosu dat, pomocí kterých budou data ze zařízení přednášena do počítače.

Praktická část se zabývá výběrem všech použitých senzorů, jejich popisem a následným zapojením. V části pro implementaci řídicího programu, to je popis programátorského kódu, který bylo potřeba vytvořit pro vybraný mikrokontrolér a popis kódu pro uživatelské rozhraní, ve kterém se všechny hodnoty budou vizualizovat jak ve formě čísel, tak grafů. Bakalářská práce je zakončena testem zařízení a zhodnocení výsledků.

## 2. Kryoterapie

Kryoterapie neboli léčba extrémním chladem je terapeutická metoda, která spočívá v aplikaci hlubokého suchého mrazu (při teplotě od  $-110^{\circ}\text{C}$  do  $-130^{\circ}\text{C}$ ) na vnější povrch lidského těla, a to po dobu 2-4 minut, což vyvolá fyziologickou reakci organismu na chlad.

Při pravidelném podstupování kryoterapie ovlivňuje příznivě tělo u:

- projevů zánětlivých a degenerativních onemocnění kloubů
- pooperační, poúrazové a chorobné změny kosterního a svalového aparátu
- nezánnětlivá i zánětlivá onemocnění kůže
- choroby plic
- další tělesné a psychické problémy

Kryoterapie zejména působí proti bolesti a ke zvýšení pohyblivosti při postižení končetin. Celkové účinky kryoterapie na celé lidské tělo provází významné posílení obranyschopnosti proti akutním a chronickým onemocněním. Kryoterapie se rovněž používá jako součást zájmových sportovních a doplňkových rekondičních aktivit. [9]

Průvodními jevy pravidelně aplikované chladové terapie jsou:

- uvolnění kosterní svaloviny a zlepšení funkce kloubů
- zlepšení prokrvení celého těla
- vymizení otoků a zánětů v oblasti končetin a snížení bolestivosti

### 2.1 Historie léčby chladem

Léčba chladem se využívala již v dávných dobách. Nejčastěji používané je přikládání ledu na rány, například na římských válečných taženích nebo v Egyptě vojáci používali led na zranění, které utrhli v bojích nebo přikládání ledu na končetiny, které byly amputovány. Nejznámější metody, které se používají i dnes, jsou studené zábaly při horečce nebo léčba zánětů pomocí studených obkladů.

Na konci 70. let 20. století v Japonsku profesor Toshiro Yamauchi zkoumal a zavedl moderní metodu kryoterapie, pár let poté také v Evropě německý revmatolog profesor Reinhard Fricke, který zkoumal a prokázal léčebný vliv extrémního chladu na zánětlivá a kožní onemocnění. K rozvoji kryoterapie také pomohli polští odborníci jako profesor Z. Zagrobelny, který v roce 1989 postavil druhou kryokomoru v Evropě. Později se kryoterapie rozšířila do více zemí, jako jsou Německo, Rakousko, Polsko, Slovensko i Česko. Mnoholeté zkušenosti prokázaly pozitivní léčebný efekt kryoterapie na lidský organismus. [9]

## 2.2 Lokální kryoterapie

Od počátku 60. let minulého století používali němečtí revmatologové úspěšně v terapii zánětlivých revmatických chorob ledové obklady. Z těchto dlouholetých zkušeností spolu s dnešními studiemi je znát, že použití ledu nebo ledových zábalů je třeba opakovat několikrát denně a pro dosažení trvalejšího efektu je třeba terapii podstupovat několik dnů až týdnů. [10]

Koncem 70. let 20. století byl zaveden do léčby chladem ledový plyn nebo vzduch. Začal se používat proud ledového plynného dusíku o teplotě až  $-180^{\circ}\text{C}$ , který se aplikoval po dobu až jedné minuty na bolestivé klouby. [10]

V dnešní době se také používají přístroje na bázi kysličníku uhličitého (až  $-75^{\circ}\text{C}$ ) nebo ledového proudu vzduchu o teplotách okolo  $-30^{\circ}\text{C}$ , který se aplikuje na postižená místa po dobu 3 minut. Čím níže je teplota pod bodem mrazu, tím je čas aplikace chladu menší, ovšem hlavní je subjektivní vnímání chladu pacientem. [10]



Obrázek 1: Lokální kryoterapie [10]

## 2.3 Celotělová kryoterapie

Základ celotělové kryoterapie je krátkodobý pobyt (od 2 do 4 minut) v kryokomoře (poláriu) s optimální léčebnou teplotou od  $-110^{\circ}\text{C}$  do  $-130^{\circ}\text{C}$ . Po výstupu z kryokomory je potřeba absolvovat aerobní fyzické cvičení, které trvá přibližně 15 minut. Příkladem je pohybová aktivita, která se provádí pomocí stacionárních kol, běžících pásů a jiných cvičebních zařízení. [11]

Kryostimulační kúra by nejlépe měla zahrnovat alespoň deset a více vstupů v co nejkratším časovém období, nejlépe 1 vstup denně. Pozitivní léčebné účinky se objevují po čtvrtém až pátém pobytu v kryokomoře, avšak i po prvním použití dochází k analgetickým účinkům, hlavně na pohybovou soustavu (úleva od bolesti zad a kloubů, a také útlum migrenózních bolestí hlavy atd. [11]

Kryokomora uvnitř obsahuje upravený suchý vzduch, technicky absolutně zbavený vlhkosti, tudíž hluboký mráz neublíží pacientovi. Nedochází ke snížení vnitřní teploty těla, avšak se prudce ochladí jeho povrch, takže dojde k obrovskému perifernímu překrvení, urychlení metabolismu a k hojivým procesům. Účinkem mrazu dojde ke zvýšení hladiny hormonů tlumících zánětlivé reakce, větší aktivitou se zatuhlé svaly uvolňují a na několik hodin zmizí i dlouhodobá bolest, bolest zad i bolesti pohybového ústrojí. Pro dlouhodobý efekt terapie se doporučuje absolvovat deset až dvanáct vstupů do kryokomory. [12]



**Obrázek 2: Celotělová kryoterapie [11]**

### **2.3.1 Fyziologické procesy provázející kryoterapii**

Díky krátkého a intenzivního vlivu nízkých teplot dojde ke stresu, pomocí kterého dojde k pohybu hormonálních reakcí a do těla se začnou vylučovat látky, které zachovávají lidský organismus nepoškozený. V krevním séru se začne zvyšovat hladina endorfinů, jejichž vlastností je protibolestivý účinek. Působením chladu dojde ke snížení vodivosti nervů (z periferních do centrální nervové soustavy a naopak) i ke svalovému uvolnění a cévy se začnou stahovat. Krev se z kapilár, které jsou v kontaktu s nízkou teplotou, šíří do vnitřního oběhu, kde se pod vyšším tlakem filtruje a proudí, takže dojde k vyplavení toxických složek. [11]

Součástí terapie je i fyzická aerobní zátěž, která je založena na opačném jevu. Ve čtvrté až páté minutě dochází až ke čtyřnásobnému prokrvení periferních částí těla a dochází k větší látkové výměně, díky níž se vylučují jedy, kyselina mléčná a volné radikály, které způsobují poškození a stárnutí buněk. [11]

### 2.3.2 Kryokomora

Kryogenická komora se skládá celkově ze dvou komor, a to z přípravné a hlavní komory. Kryokomora je chlazená kapalným vzduchem nebo kapalným dusíkem. Kontrolní teplotní systém umožňuje nastavit teploty v rozmezí od -100 až -160 °C v hlavní komoře. Kryokomora by měla být otevřená, tudíž bez stropu, aby se zabránilo hromadění tepla a par z dechu pacienta u stropu. Vyrábí se dva typy kryokomor: pro 2-3 osoby a pro 4-5 osob. [13]

Kryokomora	pro 2 - 3 osoby	pro 4 - 5 osob	
<b>Rozměry kryokomory</b>			
Šířka	250	330	cm
Délka	230	280	cm
Výška	250	250	cm
Hmotnost	1500	2000	kg
<b>Elektrické parametry</b>			
Napájení	230 / 1 / 50	230 / 1 / 50	V/Hz
	16	16	A
<b>Technické parametry</b>			
Hlavní komora - nastavitelné teploty	-100 až -160	-100 až -160	°C
Přípravná komora - nastavitelné teploty	-40 až -80	-40 až -80	°C
Hlavní komora - nastavitelné časy	1 až 3	1 až 3	min
Přípravná komora - nastavitelné časy	1 až 3	1 až 3	min
Doba vymražení	5 až 10	5 až 10	min
<b>Spotřeba kapalného vzduchu</b>			
Vymražení	ca 25	ca 40	kg
Během kryoterapie	ca 2	ca 4	kg/min
<b>Spotřeba kapalného dusíku</b>			
Vymražení	ca 50	ca 70	kg
Během kryoterapie	ca 2,5	ca 4-5	kg/min

**Tabulka 1: Technické údaje kryokomory JUKA 0104 [13]**

### 3. Fyzikální veličiny a plyny

Pro popis a charakteristiku prostředí se v této práci měří veličiny a plyny typu:

- Teplota vzduchu ( $t$ , °C)
- Vlhkost vzduchu (RH, %RH)
- Koncentrace oxidu uhličitého ve vzduchu ( $CO_2$ , ppm)

Fyzikální veličina je objektivní vlastnost látky, tělesa nebo jevu, kterou lze změřit nebo vypočítat. Fyzikální veličiny jsou definovány obecně, to znamená, že jsou nezávislé na metodice měření, zpravidla vztahem k jiným fyzikálním veličinám.[4]

#### 3.1 Teplota vzduchu

Teplota je charakteristika tepelného stavu hmoty. Obecně je to vlastnost předmětu a okolí, kterou je člověk schopen vnímat a přidat jí pocity tepla či chladu. Teplotu lze vyjadřovat různými způsoby, které se odlišují různými názvy. Nejznámější jsou: [25] [4]

- **Celsiova teplota**
  - Jednotka Celsiovy stupnice se nazývá Celsiův stupeň, značí se °C, což je mezinárodně stanovený název pro jednotku kelvin (K) při vyjadřování hodnot Celsiovy teploty. Označuje se  $t$ .
- **Fahrenheitova teplota**
  - Teplota vyjádřená v jednotce Fahrenheitův stupeň, značí se °F.
- **Termodynamická teplota**
  - Jedna ze základních veličin Mezinárodní soustavy jednotek, značka  $T$ . Jednotkou SI termodynamické teploty je kelvin, značka K

Nejrůznější stavové veličiny závisejí na teplotě, tj. mění se při její změně. Proto může být k definici teploty a k jejímu měření použita, obecně vzato, kterákoli z těchto závislostí, a to tak, že se předepíše její tvar u zvolené látky za přesně stanovených podmínek (viz teploměr, teplotní stupnice). Taková definice teploty je však založena na vlastnostech dané látky, tzv. teploměrné látky, popř. skupiny látek. Navíc je možná jen pro jistý omezený teplotní interval. [25]

- **Vliv snížené teploty na člověka**

Klesá-li tělesná teplota, je výdej tepla omezen. Dochází k zúžení cév, díky tomu se zamezuje zvýšeným ztrátám tepla sáláním a vedením. Zvyšuje periferní cévní odpor, a tím i krevní tlak, mírně se zvyšuje srdeční frekvence. Zvyšuje se produkce tepla až na čtyřnásobek základní hodnoty. [8]



Nízké teploty zevního prostředí (-5 až -20 °C) vedou k poklesu aktivity oxidativních enzymů, a tím ke snížení schopnosti vytrvalostního aerobního výkonu. Dochází také k poklesu svalové síly. Při poklesu teploty „jádra“ pod 35°C začíná třes, u psychických změn euforie, dezorientace i halucinace. Při teplotě jádra pod 30°C může nastat bezvědomí, při poklesu pod 28°C dochází k selhání krevního oběhu a smrt. [8]

### 3.1.1 Senzory teploty

Při změně teploty se mění některé vlastnosti látek tuhých, kapalin a plynů. Tyto změny se dají využít k měření teploty. Podle toho, na které vlastnosti snímače teploty reagují, se dělí na: [19]

1. Snímače teploty dilatační
  2. Snímače teploty tlakové
  3. Snímače teploty odporové
  4. Snímače teploty termoelektrické
- **Snímače teploty dilatační**
    - Kapalinové – využívají změny v objemu kapaliny v závislosti na teplotě. Podle druhu kapaliny se dělí na rtuťové, alkoholové, pentanové, cínové atd.
    - Tyčové – využívají změny délky pevné látky v závislosti na teplotě. [19]
  - **Snímače teploty tlakové**
    - Využívají změnu tlaku kapaliny, plynu nebo par v uzavřené nádobce při změnách teploty. Tlak se převádí pomocí tlakových čidel např. pomocí vlnovce na mechanický pohyb a přepínání kontaktů. [19]
  - **Snímače teploty odporové**
    - Využívají vlastnosti kovů a polovodičů, u kterých se elektrický odpor mění s teplotou. U kovů elektrický odpor se zvyšující teplotou stoupá, u polovodičů, elektrolytů a uhlíků klesá. [19]
  - **Snímače teploty termoelektrické**
    - Jejich základem je termoelektrický článek. Je tvořen spojením dvou vodičů. Vodiče jsou různého materiálu, takže vzniká elektromotorická síla. [19]

### 3.2 Vlhkost vzduchu

Vlhkost vzduchu udává obsah vodní páry v jednotkovém objemu vzduchu, který je v reálném stavu směsí suchého vzduchu a vodní páry, přičemž je závislá na teplotě. Pro vyjádření množství par ve vzduchu slouží několik charakteristik: [7]

- Tlak vodní páry
- Absolutní vlhkost vzduchu
- Relativní vlhkost vzduchu
- Rosný bod
- Měrná vlhkost vzduchu

V této práci je měřena relativní vlhkost vzduchu.

Relativní vlhkost vzduchu udává poměr mezi skutečným a maximálním, nasyceným obsahem vody ve vzduchu, která se měří v procentech (%RH, %RV). Relativní vlhkost vyjadřuje procentní nasycení suchého vzduchu vodní parou při dané teplotě. Suchý plyn má relativní vlhkost 0% a nasycený plyn vodní parou 100%. [7]

Značka relativní vlhkosti je  $\phi$  a udává se zpravidla v procentech. Relativní vlhkost vzduchu pak můžeme definovat vztahem:

$$\phi = \frac{\phi}{\phi_n} [\%]$$

kde  $\phi_n$  označuje absolutní vlhkost vzduchu nasyceného vodními parami.

Pro výpočet tohoto vztahu je potřeba znát vztah pro absolutní vlhkost vzduchu.

Absolutní vlhkost vzduchu vyjadřuje hmotnost vodní páry obsažené v jednotce objemu vzduchu. V meteorologii se vyznačuje v gramech vodní páry na metr krychlový vzduchu a je vypočítán vzorcem: [7]

$$\phi = \frac{m}{V} [g \cdot m^{-3}]$$

kde  $m$  je hmotnost vodní páry ve vzduchu o objemu  $V$ ,  $V$  je příslušný objem vzduchu.

### 3.2.1 Senzory vlhkosti

Metody měření vlhkosti plynů se vyvíjely od obyčejných ukazovacích až po vlhkoměry s elektrickým analogovým či číslicovým výstupem. V současnosti jsou k dispozici následující přístroje a metody. [26]

#### Mechanický (vlasový) vlhkoměr

Upravené přírodní materiály jsou schopny absorbovat ve své struktuře určité množství vody úměrné relativní vlhkosti okolí. Absorpce je doprovázena změnou rozměru, která se mechanicky převádí na výchylku ručky. [26]

### **Gravimetrie**

Vhodné rušidlo absorbuje vodní páru ze známého objemu vzduchu a zjišťuje se přírůstek jeho hmotnosti. [26]

### **Kondenzační vlhkoměr**

Sestává z termoelektricky chlazeného kovového zrcátka, jehož odrazivost se snímá opticky. Orosení způsobuje výraznou změnu odrazivosti a zpětná vazba zmenšuje či zvětšuje intenzitu chlazení, aby se zrcátko udržovalo mírně orosené. Teplota zrcátka se pak měří platinovým odporovým teploměrem. [26]

### **Elektrolytický vlhkoměr**

Vlhkost obsažená ve vzorku plynu se absorbuje ve speciálním roztoku, kde reaguje s elektrolytický vylučovaným činidlem. Prošlý elektrický náboj je úměrný absolutní vlhkosti vzorku vzduchu. [26]

### **Odporový senzor vlhkosti**

Senzor využívá změnu vodivosti, která u některých hygroskopických (vodu pohlcujících) materiálů doprovází absorpci vody. Dunmoreovo provedení používá polyvinylalkohol s přidavkem chloridu nebo bromidu lithného. Přívodní elektrody mohou být platinové, provedené jako dvojitá spirála z drátu na válci z izolantu nebo jako dva hřebínky napařené na keramickém podkladu. Aby nedošlo k polarizaci elektrod, je nutné měřit střídavým napětím. Změna vodivosti pokrývá jenom třetinu až pětinu celkového rozsahu relativních vlhkostí 0 až 100 %, různé koncentrace lithné soli umožňují měřit v různých pásmech. Senzor je citlivý na orosení a nelze ho použít při vyšších teplotách. Odporový senzor má velkou přesnost (desetiny %RH) a poměrně dobrou stabilitu. [26]

### **Kapacitní senzor vlhkosti**

Absorpci vody využívají i kapacitní čidla. Sledovanou veličinou je změna kapacity kondenzátoru, ve kterém je dielektrikum tvořící tenká vrstva oxidu. Jedna z elektrod je děrovaná, umožňující okolnímu vzduchu kontakt s dielektrikem. Jelikož je množství absorbované vody poměrně malé, díky její velké dielektrické konstantě jsou změny kapacity měřitelné: řádově činí 0,1 % z celkové kapacity na každé % RH. Senzory se také vyrábějí s integrovaným zpracováním signálu, kdy výstupem je místo kapacity elektrické napětí nebo digitální rozhraní. Kapacitní senzory se vyznačují malou závislostí údaje na teplotě, odolností vůči kondenzaci, dobou odezvy v řádech desítek sekund, přesností v jednotkách % RH a malými rozměry. [26]

## **3.3 Oxid uhličitý**

Oxid uhličitý je bezbarvý plyn bez zápachu. Vzniká dokonalým spalováním uhlíku, při kvašení, dýchání, tlení a hoření. Oxid uhličitý je rozpustný ve vodě, cca 1,5 krát těžší než

vzduch, nehoří a působí dusivě. Při nadýchání většího množství působí štiplavě na sliznicích a vytváří kyselou chuť. To je způsobeno rozpouštěním oxidu uhličitého na vlhkých sliznicích a ve slinách za vzniku slabého roztoku kyseliny uhličité. [24]

Jedná se o nejběžnější kontaminant vnitřního prostředí. Hlavním zdrojem v interiéru je především člověk. Při dýchání dochází k výměně kyslíku a oxidu uhličitého. Produkce oxidu uhličitého je přímo úměrná tělesné aktivitě. [24]

Koncentrace oxidu uhličitého je udávána v ppm (parts per milion), procentech a někdy v  $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ . Jednotkou ppm se rozumí jedna částice dané substance pro 999 999 dalších částic, tedy jeden díl v milionu. Mezi jednotlivými jednotkami platí vztah: [24]

$$1000 \text{ ppm} = 1800 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} = 0,1 \%$$

Hodnoty CO <sub>2</sub> [ppm]	
cca 350	Úroveň venkovního prostředí
do 1000	Doporučená úroveň CO <sub>2</sub> ve vnitřních prostorech
1000 - 2000	Nastávají příznaky únavy a snížené koncentrace
2000 - 5000	Nastávají možné bolesti hlavy
> 5000	Nastává nevolnost a zvýšený tep
> 15000	Nastávají dýchací potíže
> 40000	Při vyšších hodnotách je možná ztráta vědomí a následně smrt

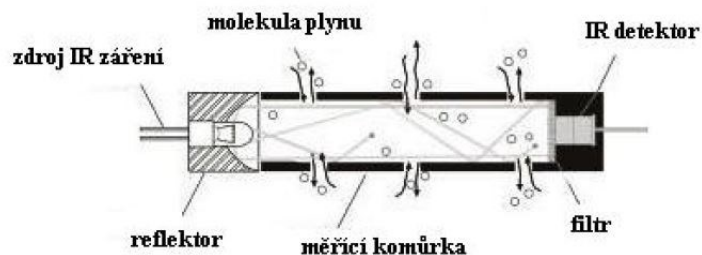
**Tabulka 2: Vliv oxidu uhličitého na člověka**

### 3.3.1 Měření oxidu uhličitého

Přístroje pro měření koncentrace oxidu uhličitého pracují na různých principech. Některé čidla pracují na základě absorpce infračerveného záření neboli NDIR (Non-Dispersive infraRed), další pracují na elektroakustickém principu nebo na elektromechanickém principu. [24]

- **Čidla NDIR**

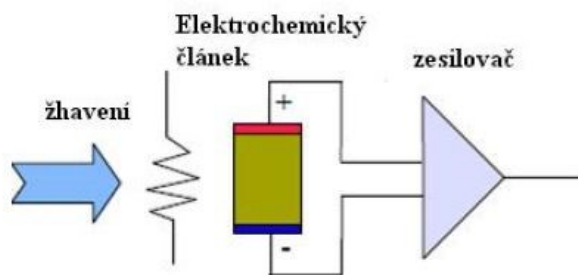
Čidla NDIR pracují na principu měření útlumu infračerveného záření ve vzduchu. Skládají se ze zdroje infračerveného záření, světlovodné trubice a infračerveného detektoru filtrem. Signál z infračerveného detektoru se zesiluje a pomocí elektronky vyhodnocuje útlum záření a na tomto základě se vypočte aktuální koncentrace oxidu uhličitého ve vzduchu. Tato čidla jsou přesná, stabilní a měří koncentraci oxidu od nulové hodnoty po vysoké hodnoty. [24]



Obrázek 3: Čidlo na principu NDIR [24]

- **Elektrochemická čidla**

Elektrochemická čidla se skládají z elektrochemického článku s tuhým elektrolytem, který je přídavným žhavením vyhříván na pracovní teplotu. Na elektrodách článku dochází k chemickým reakcím, díky tomu vzniká elektromotorická síla. Měřením elektromotorické síly se zjišťuje koncentrace oxidu uhličitého ve vzduchu. Tyto čidla mají vysokou citlivost a dobrou citlivost výběru na oxid uhličitý. Tato čidla pracují od hodnot 400 ppm. Obvykle v čidlech bývá autokalibrační funkce, díky které zajišťuje periodickou recalibraci čidla pro čerstvý vzduch. [24]



Obrázek 4: Schéma elektrochemického čidla [24]

- **Elektroakustická čidla**

Čidla pracující na principu vyhodnocování změn kmitočtu ultrazvuku v mechanickém rezonátoru. Pomocí elektroniky se vyhodnotí změna kmitočtu ultrazvukových vln a na základě závislosti změny kmitočtu na koncentraci oxidu uhličitého ve vzduchu se určí aktuální koncentrace. Čidla mají dlouhou stabilitu bez nutnosti recalibrace. [24]

Výstupy čidel jsou obvykle spojité napěťový výstup (0 – 10 V) nebo proudový (0 – 20 / 4 – 20 mA).

## 4. Měření velmi nízkých teplot

Tato kapitola popisuje odporové kovové senzory teploty a termoelektrické senzory, které dokáží měřit ve velmi nízkých teplotách, jako jsou v poláriu, tedy kolem  $-120^{\circ}\text{C}$ . Je zde popsáno z čeho se vyrábějí, jejich funkčnost a použití.

### 4.1 Odporové kovové senzory teploty

Odporové kovové senzory měří vlastní odpor kovu tvořící odporový článek. Závislost elektrického odporu kovu na teplotě znamená, že atomy v krystalové mřížce kovů s rostoucí teplotou zvětšují amplitudu svých kmitů a kladou tak větší odpor průchodu elektronů. Pro výrobu odporových kovových čidel se většinou používá platina díky její chemické netečnosti, časové stálosti a vysoké teploty tavení. Dále se také používá nikl, měď nebo molybden. [14] [15]

Materiál čidla	Základní odpor $R_0$ ( $\Omega$ )	Poměr odporů $R_{100}/R_0$ (–)	Měřicí rozsah ( $^{\circ}\text{C}$ )	Teplotní součinitel odporu $\alpha \cdot 10^{-3}$ ( $\text{K}^{-1}$ )
Pt	100	1,385	-200 až +850	3,85 až 3,93
Ni	100	1,618	-60 až +180	6,17 až 6,70
Cu	100	1,426	-200 až +200	4,26 až 4,33

Tabulka 3: Základní vlastnosti kovových odporových čidel teploty [14]

#### 4.1.1 Platinové odporové senzory

Platinové odporové senzory jsou vyráběné drátkovou, tenkovrstvou nebo tlustovrstvou technologií. U drátkové technologie je měřicí rezistor tvořen tenkým drátkem navinutým na vhodné podložce a vhodně chráněn. U odporů, vyrobených pomocí tenkovrstvé technologie, se odpor vytvoří na ploché destičce vyrobené z korundu pomocí napařování a iontového leptání. Tyto odpory mají rychlejší odezvu, obvykle vyšší odpor a jsou levnější, než odpory drátkové. Drátkové odpory jsou ale časově stálější. Poměr hodnoty odporu při  $100^{\circ}\text{C}$  a při  $0^{\circ}\text{C}$  se nazývá odporový poměr. Tento poměr současně vyjadřuje čistotu odporu a je dán vzorcem: [16] [15]

$$W_{100^{\circ}\text{C}} = \frac{R_{100^{\circ}\text{C}}}{R_{0^{\circ}\text{C}}} \geq 1,385$$

U provozních teploměrů je důležitá jejich záměnnost, která umožňuje měřit s chybami v určitých dohodnutých mezích. Proto jsou normami určeny základní hodnoty rezistorů včetně jejich odchylek. Podle normy IEC se platinové měřicí rezistory dělí do tolerančních tříd. [16]

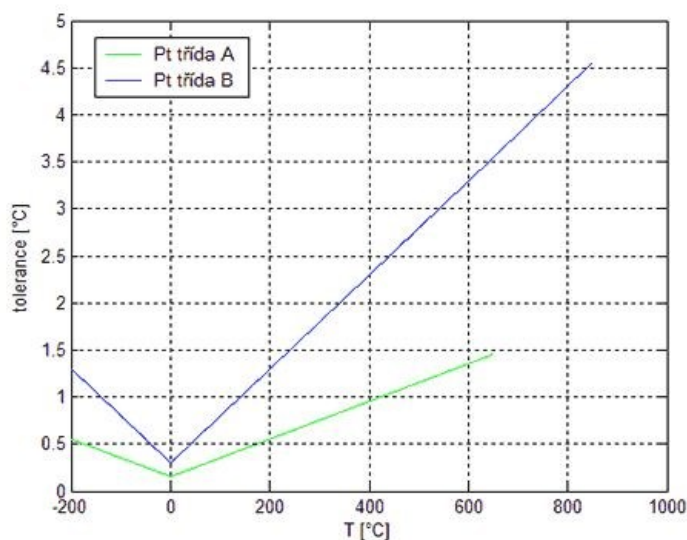
Třída	Rozsah teplot (°C)	Tolerance (°C)
A	-200 až +650	$\pm(0,15 + 0,002 t )$
B	-200 až +850	$\pm(0,3 + 0,005 t )$

**Tabulka 4: Toleranční třídy platinových čidel [14]**

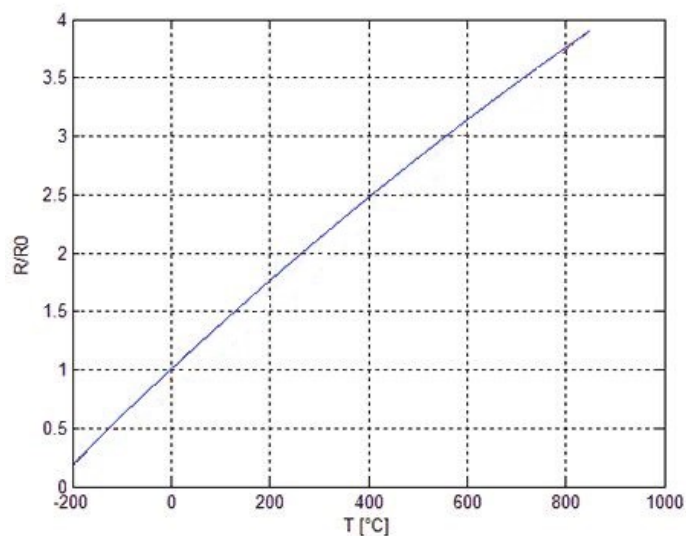
Standardní hodnota odporu PT senzoru je 100 při 0°C, kromě této hodnoty se ale vyrábějí též PT senzory 50, 200, 500, 1000 a 2000  $\Omega$  (nejčastěji užívané PT100 a Pt1000). Pro teplotní závislost standardního měřicího odporu ( $W_{100}=1,385$ ,  $R_0=100\ \Omega$ ) platí vztah:

$$R_{\vartheta} = R_0[1 + A\vartheta + B\vartheta^2 + C\vartheta^3(\vartheta - 100)]$$

kde dle IEC je  $A = 3,90802 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ ,  $B = -5,802 \cdot 10^{-7} K^{-2}$  a  $C = -4,27350 \cdot 10^{-12}$  pro  $\vartheta < 0\ ^\circ C$ , resp.  $C=0$  pro  $\vartheta > 0\ ^\circ C$ . Chyba linearit pro rozsah teplot od 0 °C do 100 °C činí asi  $1,45 \cdot 10^{-3} R_0$  tedy cca 0,15 °C.



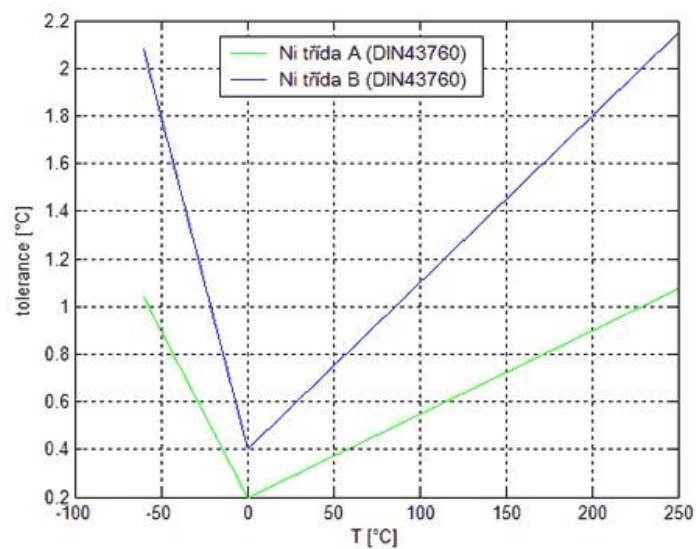
**Obrázek 5: Tolerance Pt standardních měřicích odporů dle IEC [16]**



Obrázek 6: Závislost odporu ( $R/R_0$ ) Pt senzoru na teplotě [16]

#### 4.1.2 Niklové odporové senzory

Niklové senzory jsou nejčastěji vyráběné tenkovrstvou technologií. Mají velkou citlivost, rychlou časovou odezvu a malé rozměry. Oproti platinovým sensorům mají větší nelinearitu, menší teplotní rozsah ( $-60^{\circ}\text{C}$  až  $180^{\circ}\text{C}$ ) a menší dlouhodobou stálost. Nejčastěji se používají senzory s  $W_{100} = 1,6180$  a  $R_0 = 100 \Omega$ . [16]



Obrázek 7: Závislost tolerance Ni odporových senzorů na teplotě [16]



### 4.1.3 Měděné odporové senzory

Měděné senzory se běžně nepoužívají kvůli malé rezistivitě a snadné oxidaci. Tyto senzory lze použít v rozsahu teplot od -200 °C až 200 °C. Nejčastěji se vyrábějí ve formě vinutých čidel s  $W_{100}=1,6180$  a  $R_0$  rovnající se 50 nebo 100  $\Omega$ . Výhodou měděných senzorů je přímé měření teploty měděného vinutí elektromotoru. [16]

### 4.1.4 Přesnost měření teploty odporovými snímači

Při měření veličin snímačem můžou vzniknout chyby měření, s kterými je naměřená hodnota odlišná než skutečná hodnota. Tyto chyby se řadí do tří skupin: [15]

- 1) Chyby způsobené umístěním snímače a tepelnými vlastnostmi prostředí, jímky, armatury, apod.
- 2) Chyby způsobené dynamickými vlastnostmi snímače.
- 3) Chyby jednotlivých členů elektrického obvodu, které mají vliv na výslednou chybu měření teploty.

Pro správné měření teploty je důležité mít správně umístěný snímač, aby dosáhl správného přestupu tepla na senzor a dobrý styk s měřeným prostředím. Stále se mohou vyskytnout chyby měření způsobené těmito body: [15]

- 1) Změnou odporu vedení vlivem teploty.
- 2) Základní chyba vyhodnocovacího přístroje.
- 3) Nesprávné vyrovnání napětí.
- 4) Měřicím odporem jako odchylkou od cejchovní řady.
- 5) Odchylkou kompenzačního vedení od cejchovní řady.
- 6) Termočlánkem jako odchylkou od normalizované cejchovní řady.
- 7) Odchylkou korekčního napětí.
- 8) Okolní teplotou, napájecím napětím apod. a jejich vliv na přístroje.

Změna odporu vedení se může projevit jako chyba náhodná. Vliv chyby jde odhadnout podle vzorce, který určuje velikost chyby v %, jak se projeví na stupnici přístroje. Jde o poměrnou chybu vztahnou k rozsahu. [15]

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta R}{R_{ic}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\Delta R}{R_{ic}}} \cdot 100 \quad [\%, \Omega, \Omega]$$

Kde:  $\Delta\alpha$  – přídavná chyba (%)

$\Delta R$  – změna (či odchylka) odporu vedení

$R_{ic}$  – celkový vnitřní odpor (odpor vedení a vnitřní odpor měřicího přístroje)

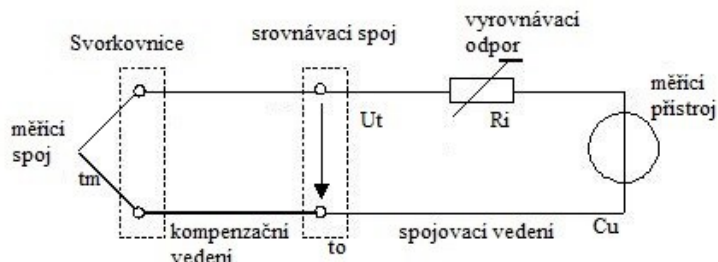
## 4.2 Termoelektrické teploměry

Základem termoelektrických snímačů teploty je termoelektrický článek, který je vytvořen spojením dvou vodičů (Obrázek 8). Vodiče jsou různého materiálu, takže vzniká elektromotorická síla. Pokud se bude teplota srovnávacího spoje měnit, bude napětí v obvodu určovat spoj svorkovnice. Závislost výstupního napětí je určena vztahem: [18]

$$U = a + b \cdot \Delta T + c \cdot (\Delta T)^2$$

Kde: a, b, c – konstanty

T – rozdíl teplot srovnávacího a měrného konce termočlánku



Obrázek 8: Schéma obvodu termoelektrického článku [18]

Termoelektrické napětí  $U_t$  se pomocí kompenzačního a spojovacího vedení (měděné) přivádí na měřicí přístroj. Srovnávací spoje je třeba udržovat na konstantní teplotě, aby bylo možné každé hodnotě termoelektrického napětí přiřadit danou teplotu.

U výběru materiálu pro snímač je nutné, aby závislost termoelektrického napětí na teplotě se blížila lineárnímu průběhu. Materiál by měl být odolný vůči chemickým, korozním a mechanickým vlivům a výstupní napětí by mělo být co největší, jinak se zmenšuje přesnost.

Materiál se volí podle požadovaného teplotního rozsahu teplot, přesnosti měření a doby životnosti snímače. Stálost by měla být s časem neproměnná, což za vyšších podmínek je těžší dodržet. [18]

Nejčastěji používané jsou termoelektrické snímače Cu-Ko pro měření teplot od -250 do 500°C. Pro zvětšení odolnosti proti korozi se používají přísady jako mangan, křemík, kobalt, hořčík. Používaná měď ve člancích by měla být elektrolyticky čistá, protože jakékoliv nečistoty ovlivňují termoelektrické vlastnosti článku. Znečištění železa by mělo být maximálně v několika setin procentech, jinak dochází ke korozi. [18]

<b>Termoelektrický článek</b>	<b>Rozsah teplot</b>	<b>Termoelektrické napětí (mV/100°C)</b>	<b>Barevné označení</b>	<b>Odolnost v oxidačním prostředí</b>
T (Cu - Ko)	-200 až 500°C	4,25	Hnědá	Malá
J (Fe - Ko)	-200 až 600°C	5,37	Modrá	Malá, nutno chránit
K (ch - a)	-50 až 1000°C	4,8	Žlutá (zelená)	Velká
S (PtRh - Pt)	0 až 1300°C	0,64	Bílá	Velká
B (PtRh30 - PtRh6)	1000 až 1600°C			Velká

**Tabulka 5: Základní parametry termočlánků [18]**

## 5. Telemetrie

Přenos dat je přenos digitálních zpráv nebo digitalizovaného analogového signálu pomocí fyzického dvoubodového nebo vícebodového přenosového média, kterým může být metalický kabel, optický kabel nebo bezdrátový přenos.

- **Drátový přenos dat**

Drátový přenos se dá rozdělit na:

- Metalický (kovový) – přenos dat pomocí kovového vodiče.
  - RS232, USB, Paralelní port, HDMI a další
- Optický – přenos dat pomocí světelných paprsků po optických vláknech. Optické vlákna mohou být skleněná (křemíková) nebo plastová.

- **Bezdrátový přenos dat**

Význam bezdrátový přenos znamená přenos dat bez cizí pomoci (vodiče). Tato komunikace nemá fyzické spojení mezi dvěma a více zařízeními, to znamená, že komunikují bezdrátově. Signály jsou rozloženy a jsou přijímány a předány pomocí antén. Pokud je anténa připojena k elektrickému obvodu počítače nebo zařízení, jsou digitální data převáděna do bezdrátových signálů a přenáší se po celém frekvenčním rozsahu. Na opačném konci je přijímač, který tyto data přijímá a převádí zpět na digitální data. I malá část elektromagnetického spektra může být použita pro bezdrátový přenos.[5]

Možnosti bezdrátové komunikace [1][3]:

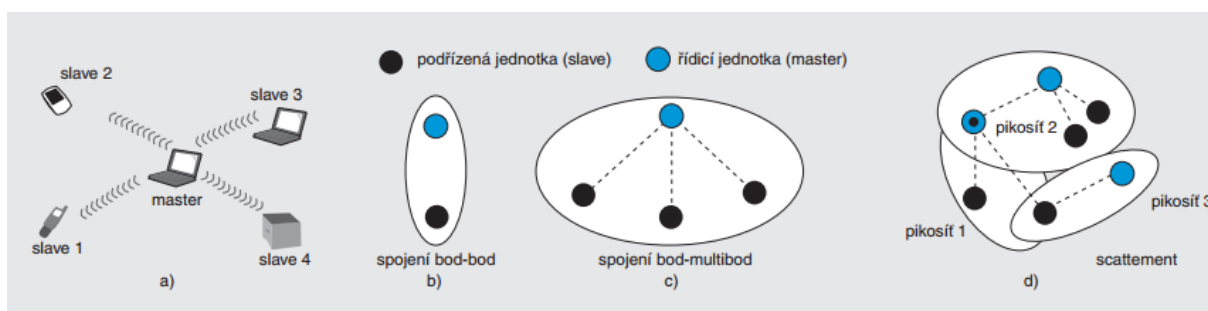
- Bluetooth
  - Bluetooth technologie byla navržena jako bezdrátový komunikační standart, využívající komunikační frekvenční pásmo ISM.
- Wi-fi
  - Bezdrátová technologie na bázi mikrovlnného vlnění. Tato technologie využívá frekvenční pásmo 2,4 a 5 GHz, kde rychlost dosahuje desítky až stovky Mb/s.
- IrDA
  - Bezdrátový přenos dat pomocí infračerveného záření. IrDA zařízení komunikují pomocí infračervených LED diod s vlnovými délkami vyzařovaného světla 875nm. Při dopadu světla na přijímač vyrazí světlo elektrony, které se odvádí do filtru, který propustí jen ty frekvence, které jsou povoleny pro daný typ IrDA modulace.
- ZigBee
  - Bezdrátová komunikační technologie určená pro spojení nízko-výkonových zařízení v síti PAN na vzdálenosti do 75 metrů. ZigBee pracuje v bezlicenčních pásmech 868, 928 MHz a 2,4 GHz. Přenosová rychlost je 20, 40 250 kbit/s.

V této bakalářské práci bylo zvažováno mezi technologiemi Bluetooth a WiFi. WiFi oproti Bluetooth umožňuje přenášet data vysokou rychlostí. Přenosová rychlost ale není jediná vlastnost, která je důležitá. Mimo jiné je třeba brát v potaz i spotřebu zařízení a vzdálenost, se kterou je možné bezpečně komunikovat. Spotřeba WiFi zařízení je kolem 250mA, za to u Bluetooth je spotřeba maximálně 50mA. Vzdálenost komunikace u Bluetooth verze 2.0 je kolem 10 metrů, u WiFi může dosahovat až stovek metrů. Jelikož zde není potřeba velké rychlosti přenosu jakou má WiFi a vzdálenost mezi zařízeními, tak byla vybrána technologie Bluetooth, hlavně díky menší spotřebě, která je důležitá a také díky jejímu jednoduššímu spojení.

## 5.1 Bluetooth

Bluetooth technologie byla navržena jako bezdrátový komunikační standart, využívající komunikační frekvenční pásmo ISM. Komunikace využívá techniku přeskakující rádiové vlny (FHSS). Tento standart je navrhován tak, aby podpořil přenosy typu „point-to-point“ a „point-to-multipoint“. Dosah standartního komunikačního uzlu je od 10 do 100 m. [6]

Bluetooth technologie pracuje v bezlicenčním pásmu 2,4 GHz. Komunikační kanály mají mezi sebou vzdálenost 1 MHz, tudíž použitelných kanálů Bluetooth aplikacemi je 79. Používá se metoda kmitočtových skoků (FHSS) s rychlostí 1600 skoků za sekundu (po 625 mikrosekundách) za účelem potlačení prolínání s ostatními signály. Po každém přenosu a příjmu se změní frekvence, tudíž je zajištěna lepší kvalita spojení mezi zařízeními. Modulace signálu se uskuteční pomocí Gaussovske modulace s frekvenčním klíčováním (GFSK). Bluetooth verze 1.2 používá adaptivní přeskakování mezi kmitočty (AFH). AFH je určeno pro omezení rušení mezi bezdrátovými technologiemi v bezlicenčním pásmu 2,4 GHz. Bluetooth verze 2.0 EDR používá klíčování fázovým posuvem (PSK) pro zvýšení přenosové rychlosti, a to  $\pi/4$  - DQPSK pro rychlosti do 2Mb/s a 8DPSK pro rychlosti až 3Mb/s. [6]



**Obrázek 9: Příklad fyzického uspořádání různých typů sítě piconet [2]**

Technologie Bluetooth má dva stavy, a to stavy Master a Slave. Stav Master má to zařízení, které je aktivní jako první, takže ostatní zařízení, které se připojí, získají stav Slave a komunikují pomocí zařízení Master. Zařízení Master je řídicí zařízení, který sestavuje

komunikaci mezi ostatními zařízeními, řídí frekvenční skoky a přiděluje komunikační kanály. Pokud zjistí aktivitu v okolí, začne vysílat na 16 frekvencích „Strana“ (pokud zná konkrétní adresu druhého zařízení) nebo „Dotaz“ (pokud o druhém zařízení nic neví). Pokud Master nedostane odpověď, tak na dalších 16 frekvencích začne vysílat znova. Jeden Master dokáže řídit až sedm zařízení Slave. Tyto sítě se nazývají „piconet“. Pokud se piconet spojí přes Slave zařízení, které komunikují se dvěma Mastery, tak dokáží vytvořit větší síť „scatternet“. [3][6]

Bluetooth používá takzvané profily, pomocí kterých definuje oblasti použití daného zařízení. Tyto profily zajišťují vzájemnou kombinovatelnost zařízení na nejvyšší softwarové úrovni. Pokud zařízení mají komunikovat, musí obě komunikující strany podporovat stejný profil. [6]

### 5.1.1 Maximální rychlost a dosah

Data se mohou přenášet buď v asynchronním, nebo synchronním módu. V asynchronním módu mohou být data přenášena asymetricky nebo symetricky. Asymetricky přenášená data jsou přenášena v jednom směru s rychlostí 723 kbit/s a opačným směrem 57,6 kbit/s. symetricky přenášená data s rychlostí 432,6 kbit/s v obou směrech. [6]

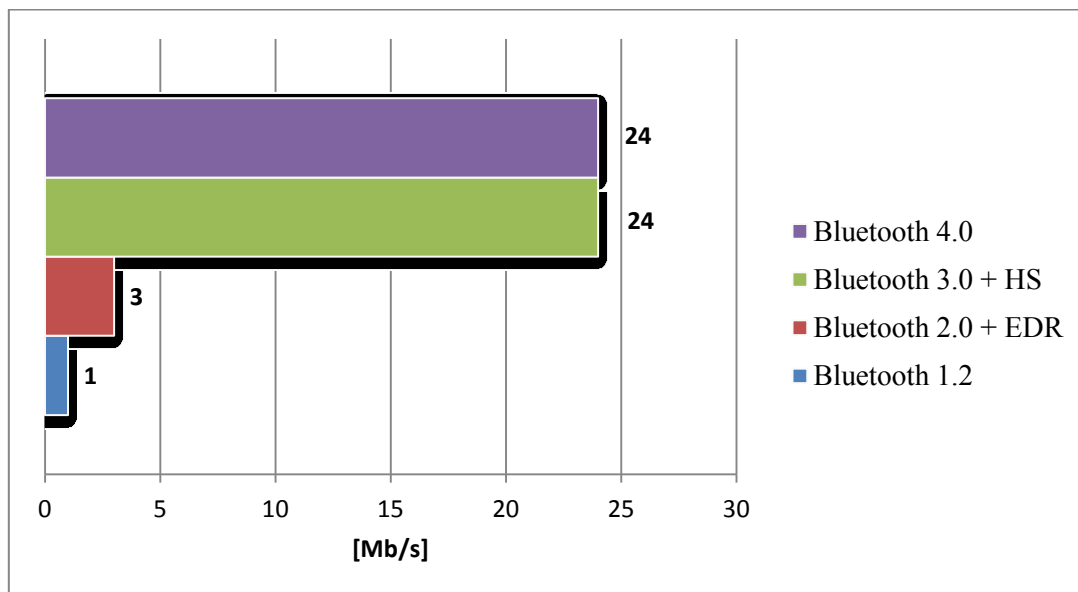
Typ kanálu	Typ přenosu	Rychlost v obou směrech	Použití
asynchronní	symetrický	432,6 kb/s	přenos dat
-	asymetrický	721 / 57,6 kb/s	přenos dat
synchronní	-	64 / 64 kb/s	přenos zvuku

**Tabulka 6: Přenosové rychlosti [6]**

Dosah Bluetooth se dělí do tří tříd. Třídy jsou definované podle maximálního vstupního výkonu. Třída 1 má dosah 100 m s maximálním výkonem 100 mW, třída 2 má dosah 50 m s výkonem 2,5 mW a třída 3 má dosah 10 m s výkonem 1 mW. [6]

Výkonová třída	Maximální výkon	Maximální dosah
1	100mW (20dBm)	100m
2	2,5mW (4dBm)	50m
3	1mW (0dBm)	10m

**Tabulka 7: Výkonové třídy [6]**



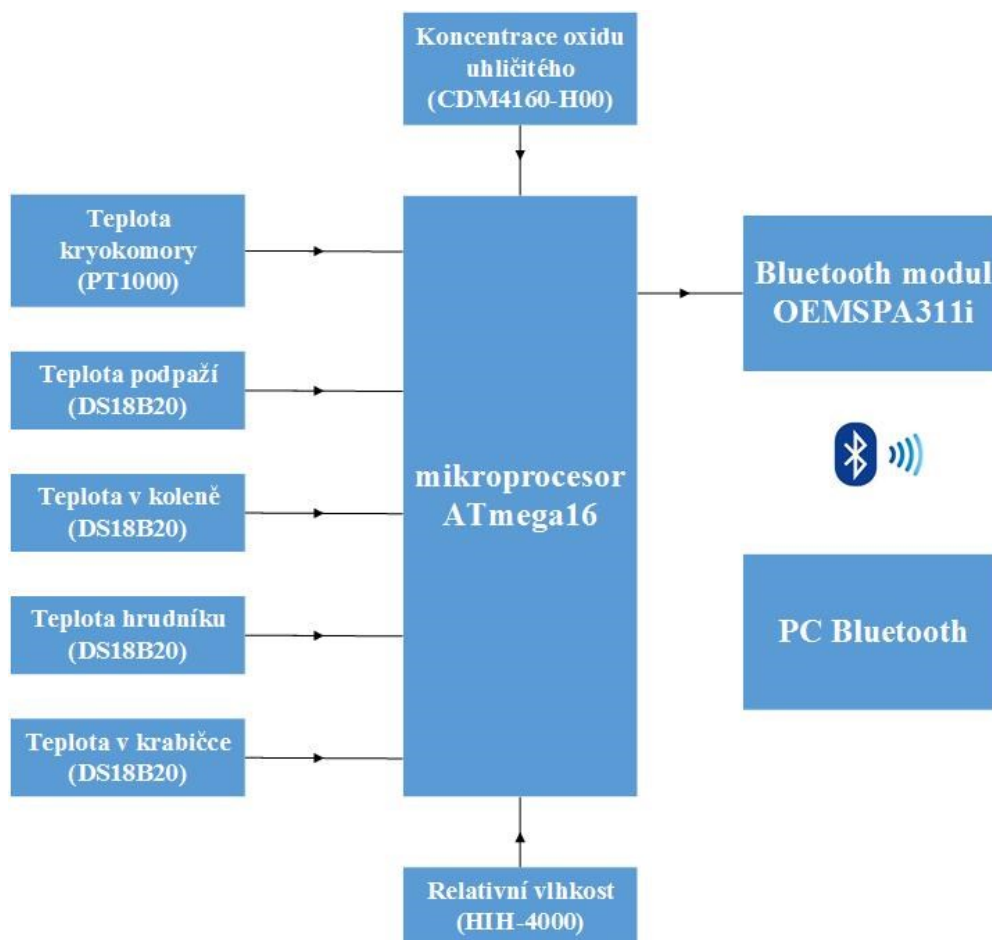
**Obrázek 10: Bluetooth - přenosové rychlosti**

### 5.1.2 Bezpečnost

K správnému fungování Bluetooth slouží i jeho zabezpečení. Na spojení mezi zařízeními se používají čtyři kódy. Jedním je veřejná adresa, která má délku 48 bitů a pro každého uživatele je jiná. Poté jsou dva klíče o délce 128 bitů a poslední je náhodné číslo o délce 128 bitů, které je pokaždé jiné. Při prvním spojení mezi zařízeními se obě zařízení musí spárovat, tudíž se musí zadat identifikační číslo (neboli PIN) na obou zařízeních. Zvýšení bezpečnosti podporuje také malý dosah signálu, díky tomu je těžší daný signál odposlechnout a také rychle frekvenční skoky. [6]

## 6. Návrh a realizace systému

Tato kapitola se zabývá návrhem a realizací systému pro měření. Jsou zde popsány jednotlivé senzory, jejichž hodnoty jsou bezdrátově přeneseny do počítače a následně zobrazeny v uživatelském rozhraní.



Obrázek 11: Blokové schéma návrhu systému

Blokové schéma zařízení se skládá ze senzoru teploty PT1000, čtyř senzorů teploty DS18B20, senzoru vlhkosti HIH-4000 a modulu pro měření koncentrace oxidu uhličitého CDM4160-H00. Dalším blokem je mikroprocesor ATmega16, ve kterém se data ze senzorů převedou na požadovaný formát a odešlou pomocí Bluetooth modulu OEMSPA311i, který je připojen na desce do počítače, kde se všechny měřené veličiny zobrazí v uživatelském rozhraní.

Zařízení by mělo mít co největší výdrž na baterii, dobrou přesnost měření a nejlépe co nejmenší cenu součástek. Pro úspěšnou realizaci práce byl použit program Eagle 6.5.0, ve kterém byl vytvořen návrh elektronického schématu, program Atmel Studio 6.2 pro



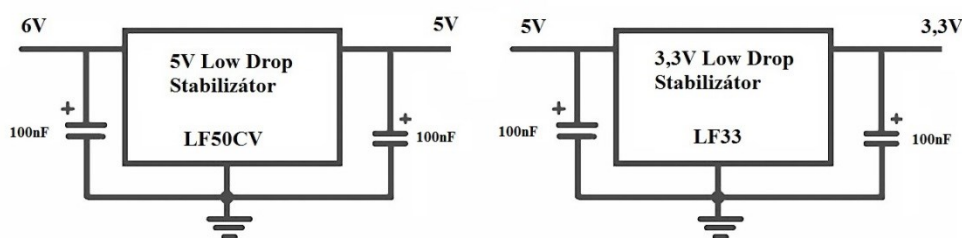
naprogramování mikroprocesoru a program Visual Studio 2013 pro vytvoření uživatelského rozhraní.

## 6.1 Napájení měřicího zařízení

Většina komponentů potřebuje průměrné napájecí napětí 5V. Jako zdroj napětí byl vybrán Olověný akumulátor Shimastu NPG5-6, který má hodnotu napětí 6V s kapacitou 5Ah. Nevýhodou je sice vlastní hmotnost, která přesahuje půl kilogramu, za to má velikou kapacitu, která je pro měření hodně důležitá, aby měřicí zařízení pracovalo co nejdéle. Jelikož většina součástek nepodporuje napětí 6V, musí se použít stabilizátory napětí.

Stabilizátor je součástka, která stabilizuje výstupní napětí při změnách vstupního napětí nebo při změně zatěžovacího proudu. Zjednodušeně to znamená, že se porovnává požadované napětí s přiváděným napětím a na základě toho upravuje výstupní napětí.

Jelikož všechny senzory a mikroprocesor mají doporučené napětí 5V a Bluetooth modul 3,3V, tak jsou použity dva „low drop“ stabilizátory. Stabilizátor LF50CV, který je pro konverzi vstupního napětí na 5V a stabilizátor LF33 pro konverzi na 3,3V. Tyto typy stabilizátorů jsou použity díky jejich malému úbytku napětí, který je 0,45V.



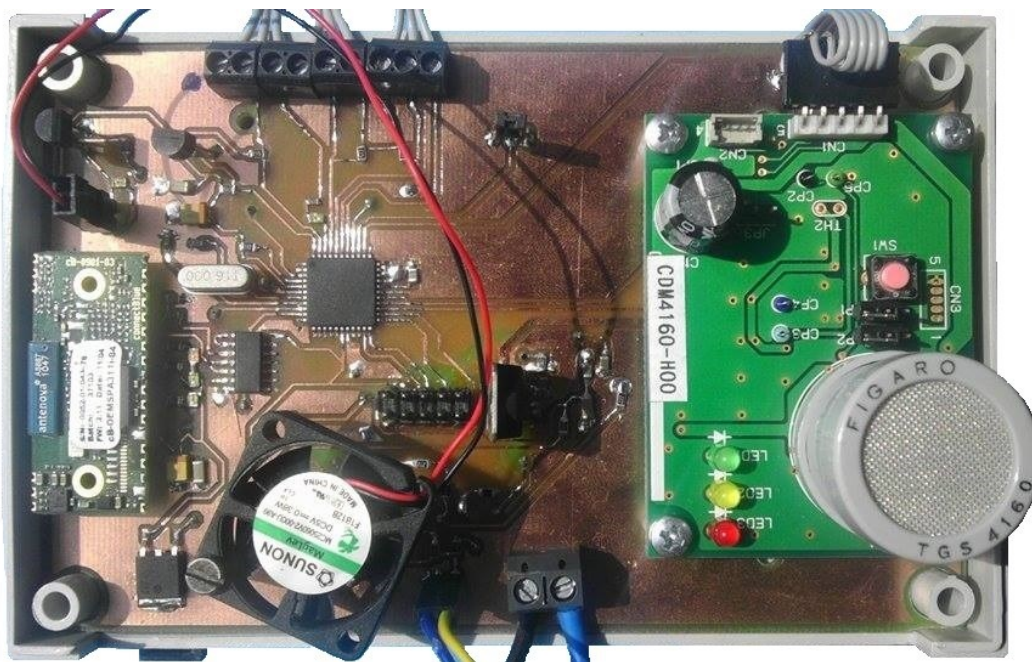
Obrázek 12: Schéma zapojení stabilizátorů

U každého stabilizátoru jsou přidány dva blokovací kondenzátory velikosti 100nF, které chrání obvod vůči rušení či kmitání.

## 6.2 Deska plošného spoje

Schéma systému a návrh desky plošného spoje byly vytvořeny v programu Eagle 6.5.0. Deska byla vytvořena jako dvouvrstvá. Součástky byly vybrány v provedení SMD, odpory a kondenzátory mají rozměr pouzder 0603.

Po vytvoření schématu a návrhu desky plošného spoje byla vyrobena deska, na kterou byly osazeny součástky. Deska dosahuje velikostí cca 13,5 x 8,5 cm, za účelem, aby se měřicí zařízení vešlo do vybrané krabičky.



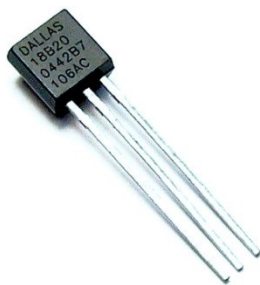
Obrázek 13: Horní strana desky

## 6.3 Realizace částí pro telemetrii

Tato část se zabývá všemi hlavními komponentami zařízení, jako jsou senzory a Bluetooth. Jsou zde popsány hlavní vlastnosti senzorů, jejich napájení, výstup, provozní teploty a jejich zapojení.

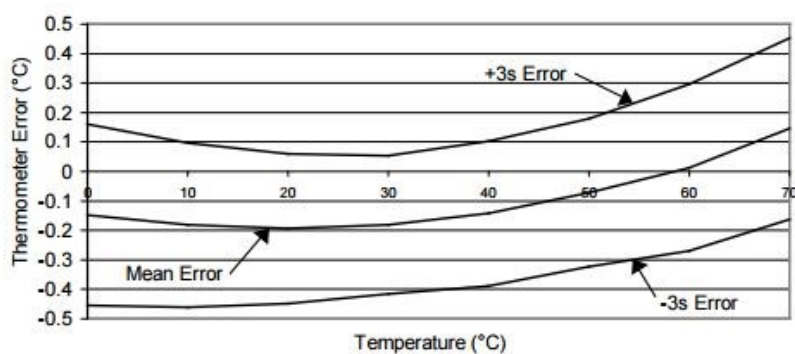
### 6.3.1 Senzor teploty

Měření teploty se provádí pomocí dvou druhů senzorů. Jedním z nich jsou 4 senzory DS18B20 od společnosti Dallas. Jeden senzor je umístěn uvnitř krabičky zařízení, tři senzory jsou umístěny na těle experimentátora, a to na místech v podpaží, hrudníku a noze. Tímto se zajistí kontrola teploty v každé třetině těla.



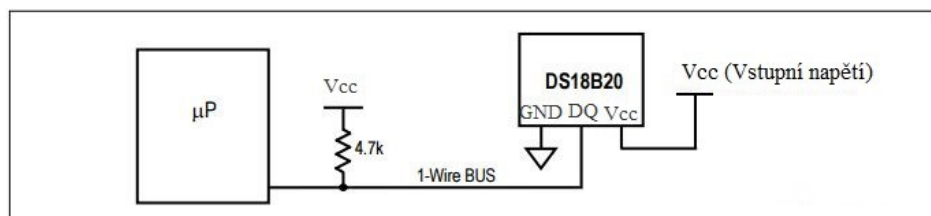
**Obrázek 14: Senzor DS18B20**

Senzor DS18B20 je čidlo teploty, který má zabudovaný A/D převodník převádějící teplotu na 9 – 12 bitové slovo. Senzor používá komunikační protokol 1-Wire sběrnice, která využívá jeden vodič pro datový signál i napájení, druhý vodič jako zem. Senzor měří teplotu ve stupních Celsia v maximálním rozsahu od  $-55^{\circ}\text{C}$  do  $125^{\circ}\text{C}$ , s přesností  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  v rozsahu  $10^{\circ}\text{C}$  až  $85^{\circ}\text{C}$ . Jeho napájecí rozsah je  $3,0\text{V} - 5,5\text{V}$ . [20]



**Obrázek 15: Teplotní křivka senzoru DS18B20 [20]**

Celkově jsou použity 4 senzory napájené konstantním napětím 5V ze stabilizátoru. Senzory měří teplotu uvnitř obleku. Jeden senzor je umístěný uvnitř krabičky, další tři jsou umístěné někde na těle osoby, takže senzory jsou v teplotním rozsahu, ve kterém dokáží měřit. Senzory jsou připojeny na piny digitálního portu PORT B.



**Obrázek 16: Blokové schéma senzoru DS18B20 [20]**

Druhý typ teplotního senzoru je platinový teplotní senzor PT1000. Senzory PT1000 mají 1000 ohm vnitřní odpor. Tato hodnota je při teplotě 0°C. Hodnota odporu se mění při změně teploty. Při kladných teplotách roste, při záporných klesá.



**Obrázek 17: Odporové teplotní čidlo PT1000**

Měřená teplota se vypočte pomocí rovnice pro platinové senzory teploty:

$$R_{(T)} = R_0[1 + A(T) + B(T)^2]$$

kde dle IEC je  $A = 3,90802 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ ,  $B = -5,802 \cdot 10^{-7} K^{-2}$

Za účelem stanovení teploty  $T$  se rovnice musí upravit

$$T(R) = \frac{A - \sqrt{A^2 + 4 \cdot B \cdot \left(1 - \frac{R(T)}{R_0}\right)}}{2 \cdot B}$$

	Odpor [ $\Omega$ ] R(Pt)	Odpor [ $\Omega$ ] R(naměřený)	Teplota[°C]	$U_3[V]$
1	1069	1070	18	1,6914
2	1379	1381	99	4,9823

**Tabulka 8: Tabulka naměřených a skutečných hodnot**

Výstupní napětí jako funkce teploty se stanoví za použití těchto parametrů pomocí lineární regrese

$$T[^\circ C] = A \cdot U_3 + B$$

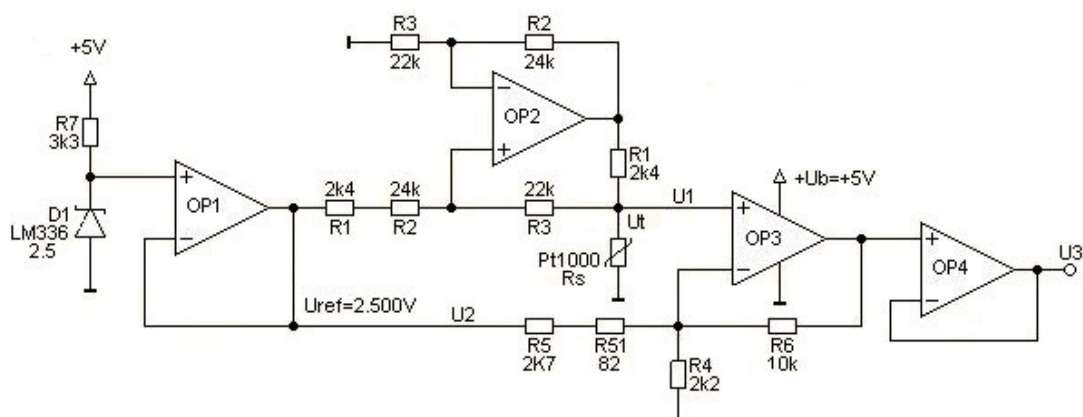
$A = 24,685$

$B = -23,605$

Jelikož každý senzor měří trochu jinak, tak při použití těchto hodnot, může vyjít jiná teplota, než která byla naměřena. Proto se musí pozměnit čísla  $A$  a  $B$ , aby vyšla správná teplota. U tohoto senzoru se číslo  $A$  rovnalo 24,61525, číslo  $B$  se rovnalo 23,605.

Dosažením do rovnice se získá naměřená teplota:

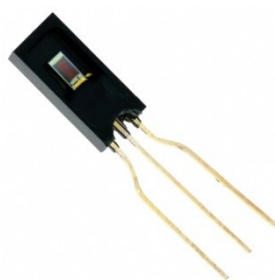
$$T[^{\circ}\text{C}] = 24,61525 \cdot U_3 - 23,605$$



**Obrázek 18: Schéma zapojení PT1000**

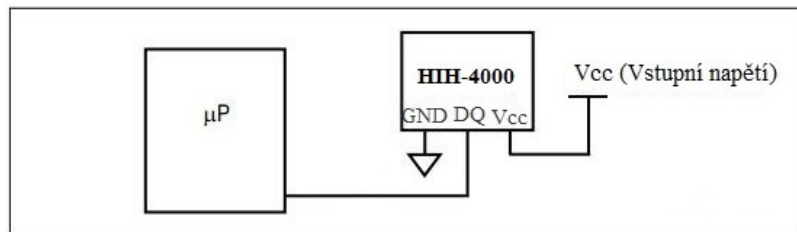
### 6.3.2 Senzor vlhkosti

K měření vlhkosti je použit senzor HIH-4000 vyráběný společností Honeywell. Snímač je schopen pracovat v rozsahu teplot  $-40^{\circ}\text{C}$  až  $85^{\circ}\text{C}$ . Rozsah měřené vlhkosti je 0 až 100% RH. Napájecí napětí je od 4 – 5,8V. Výhodou senzoru je nízký odběr proudu, který je od  $200\mu\text{A}$  po  $500\mu\text{A}$ .



**Obrázek 19: Senzor vlhkosti HIH-4000**

Senzor je napájený stejnosměrným napětím velikosti 5V ze stabilizátoru. Výstupní napětí, které je stejnosměrné, může dosahovat hodnot v rozmezí 0,8 až 3,9V. Senzor je umístěný uvnitř krabičky, jelikož v poláriu je nulová vlhkost, tudíž je zbytečné měřit mimo ochranný oděv, navíc je v poláriu menší teplota, než ve které dokáže senzor měřit. Senzor je připojen na analogový vstup mikroprocesoru na PORT A.



Obrázek 20: Schéma zapojení HIH-4000 [21]

Výstup senzoru je stejnosměrné napětí, jejíž hodnota je úměrná vlhkosti, který se převede na digitální pomocí AD převodu v mikroprocesoru, jenž je popsán v kapitole **Chyba! enalezen zdroj odkazů..** Po převodu je hodnota napětí převedena pomocí vztahu na hodnotu relativní vlhkosti v procentech:

$$RH = \frac{V_{OUT} - 0,826}{0,0315} [\%]$$

### 6.3.3 Senzor oxidu uhličitého

Jako senzor oxidu uhličitého jsem použil modul CDM4160-H00 se senzorem TGS4160 od společnosti FIGARO. CDM4160 je odolný elektrolytický snímač, který díky vstupnímu stejnosměrnému napětí má na analogovém výstupu napětí úměrné koncentraci oxidu uhličitého. Senzor TGS4160 je elektrochemické čidlo pracující na měření elektromotorické síly.



Obrázek 21: Modul CDM4160-H00

Modul je napájený stejnosměrným napětím velikosti 5V. Jeho provozní teplota je od -10° - 50°C. Modul je umístěn uvnitř krabičky, takže měří koncentraci oxidu uhličitého uvnitř obleku. Modul CDM4160-H00 je schopný měřit koncentraci oxidu uhličitého ve vzduchu v rozmezí od 400 do 40000ppm.

Aby modul posílal správné hodnoty, musí se prvně podle katalogového listu dvě hodiny zahřívát. Jeho analogový výstup dosahuje hodnot napětí od 0 – 4,6V. Pro výpočet koncentrace oxidu uhličitého se analogový výstup převede na digitální číslo, kde podle vztahu z katalogového listu se dosáhne dané koncentrace  $CO_2$ :

$$CO_2 \text{koncentrace} = V_{OUT} \cdot 10000 [ppm]$$

#### 6.3.4 Bezdrátový přenos dat

Jako Bluetooth modul se vybral OEM Seriál Port Adapter, typ OEMSPA311. Jedná se o modul s Bluetooth verzí 2.0. Doporučené napájecí napětí modulu je 3,3V.



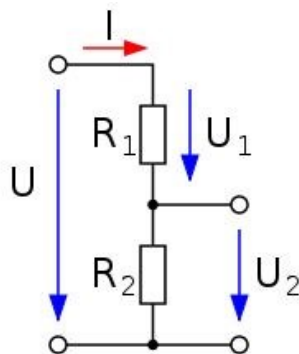
Obrázek 22: Bluetooth modul OEMSPA311 [22]

Jelikož napájecí napětí je 3,3V tak je přidán stabilizátor, který zmenší napájecí napětí z 5V na 3,3V. Bluetooth je připojen na vysílací a přijímací piny mikroprocesoru. U modulu jsou také tři diody LED, zobrazující napájení, spojení s druhým Bluetooth a vysílání dat.

Jelikož všechny signály modulu jsou logických úrovní 0 - 3VDC, byl použit napěťový dělič pro změnu napěťové hladiny.



$$U_2 = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 5 \cdot \frac{2200}{2200 + 1800} = 2,75 \text{ V}$$



**Obrázek 23: Napětový dělič**

Samotný Bluetooth nebylo třeba nastavovat, při nasazení může rovnou komunikovat s počítačem, ve kterém je třeba spárovat obě zařízení. To se provede následujícím postupem.

- V menu START -> Zařízení a tiskárny
- Stisknout „Přidat zařízení“ a počkat na vyhledání zařízení
- Vybere se zařízení a klikne se na Další
- Vybere se „Zadat párovací kód zařízení“ a zapíše se „0“ která je dán jako základní kód

Dále se musí zjistit pod jakým číslem je zařízení aktivní, to se provede podle následujícího postupu.

- V Ovládacích panelech se vybere Systém a zabezpečení
- Vybere se Systém a zde Správce zařízení
- Zde pod záložkou Porty (COM a LPT) se nachází číslo COM zařízení, pomocí kterého se připojí na zařízení v uživatelském rozhraní

## 6.4 Implementace řídicího programu

Důležitým krokem bylo vytvořit programový kód mikroprocesoru ATmega16 a uživatelského rozhraní v počítači. Kód pro mikrokontrolér byl napsán v programu Atmel Studio 6.2 od společnosti Atmel v jazyce C. Uživatelské rozhraní bylo naprogramováno v programu Visual Studio 2013 v jazyce C Sharp.

Řídicí program pro mikrokontrolér se skládá z komunikace pro senzory DS18B20, analogově digitálním převodem a sériovým rozhraním, které je využito pro Bluetooth.



### 6.4.1 Rozhraní DS18B20

Pro datové linky senzorů DS18B20 je použit Port B mikroprocesoru, a to bity 0, 1, 3, 4. Porty se nadefinují na začátku programu, takže se nemusí kódovat uvnitř v programu. Na ukázkou je zde pouze kód pro senzor na bitu 4:

```
//Define DS18B20-1
#define THERM1_PORT PORTB
#define THERM1_DDR DDRB
#define THERM1_PIN PINB
#define THERM1_IO 4
```

Je nadefinován port (PORTB), směr dat registru (DDRB), vstupní port registr (PINB) a bitové číslo (4).

Další jsou příkazy na set, clear a read každých IO port bitů:

```
#define ClearBit(x,y) x &= ~_BV(y)
#define SetBit(x,y) x |= _BV(y)
#define ReadBit(x,y) x & _BV(y)
```

Omezení datové linky se se vytvoří pomocí setu definic:

```
#define THERM1_INPUT() ClearBit(THERM1_DDR,THERM1_IO)
#define THERM1_OUTPUT() SetBit(THERM1_DDR,THERM1_IO)
#define THERM1_LOW() ClearBit(THERM1_PORT,THERM1_IO)
#define THERM1_HIGH() SetBit(THERM1_PORT,THERM1_IO)
#define THERM1_READ() ReadBit(THERM1_PIN,THERM1_IO)
```

K započetí měření je potřeba nastavit datovou linku na „low“ po 480 mikrosekund. Poté, po uplynutí dalších 60 mikrosekund senzor DS18B20 nastaví linku „low“, aby indikovala jeho přítomnost. Tato sekvence resetuje všechny slave zařízení na sběrnici, kde každý bude signalizovat jeho přítomnost tím, že změní datovou linku na „low“.

- Nastav datovou linku jako výstup a změn datovou linku na „low“
- Počkej 480 mikrosekund
- Uvolni datovou linku
- Počkej 60 mikrosekund
- Přečti data, čekání na odpověď od slave zařízení
- Počkej na zbytek přijímacího slotu

Další částí je mikrosekundové časové zpoždění. K tomu účelu byla vytvořena knihovna delay.h jejíž funkce je „\_delay\_us“. Avšak aby bylo možné ji použít, je třeba specifikovat

rychlost taktovací frekvence mikrokontroléru v Hz. V této bakalářské práci je použit krystal 16MHz.

```
#define F_CPU 16000000UL
#include <util/delay.h>
```

Kód pro reset operaci je napsán takto:

```
byte therm1_Reset()
{
    byte i;
    THERM1_OUTPUT();
    THERM1_LOW();
    _delay_us(480);
    THERM1_INPUT();
    _delay_us(60);
    i = THERM1_READ();
    _delay_us(420);
    return i;
}
```

Psaní bitu do slave zařízení je prováděno striktním časovým protokolem. Každý časový slot je 60  $\mu$ S široký a začíná, když master sníží datovou linku na 1  $\mu$ S. Pro zapsání jedničky, master uvolní linku, které je umožněno téct zpět do vysoké logické úrovně. Pro zapsání nuly, master udržuje „low“ pro celý slot.

```
void therm1_WriteBit(byte bit)
{
    THERM1_OUTPUT();
    THERM1_LOW();
    _delay_us(1);
    if (bit) THERM1_INPUT();
    _delay_us(60);
    THERM1_INPUT();
}
```

Čtení bitů je také v 60  $\mu$ S časových intervalech. Master drží datovou linku po 1  $\mu$ S. Poté master čeká 14  $\mu$ S před čtením linky.

```
byte therm1_ReadBit()
{
    byte bit=0;
    THERM1_OUTPUT();
    THERM1_LOW();
    _delay_us(1);
    THERM1_INPUT();
```

```

    _delay_us(14);
    if (THERM1_READ()) bit=1;
    _delay_us(45);
    return bit;
}

```

Následující část programu se zajišťuje získání dvou bytů teploty:

```

void therm1_ReadTempRaw(byte *t0, byte *t1)
{
    therm1_Reset();
    therm1_WriteByte(THERM_SKIPROM);
    therm1_WriteByte(THERM_CONVERTTEMP);
    while (!therm1_ReadBit());

    therm1_Reset();
    therm1_WriteByte(THERM_SKIPROM);
    therm1_WriteByte(THERM_READSCRATCH);
    *t0 = therm1_ReadByte();
    *t1 = therm1_ReadByte();
}

```

Dva byty t0 a t1 představují data 12-bitové teploty v °C

t0:	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$	$2^{-1}$	$2^{-2}$	$2^{-3}$	$2^{-4}$
t1:	S	S	S	S	S	$2^6$	$2^5$	$2^4$

**Tabulka 9: Teplotní registr [28]**

S = Sign (znaménko)

- Znak bitů S indikuje, zda je teplota kladná či záporná: pro kladná čísla S = 0 a pro záporná čísla S = 1.

Poslední hlavní částí programu je získání celkové teploty v °C.

```

void therm1_ReadTempC(int *whole, int *decimal)
{
    byte t0,t1;
    therm1_ReadTempRaw(&t0,&t1);
    *whole = (t1 & 0x07) << 4;
    *whole |= t0 >> 4;
    *decimal = t0 & 0x0F;
    *decimal *= 625;
}

```

Je zapotřebí sloučit celé číslo z obou bytů do jednoho bytu. Vrchní 4 bity z bytu T0 je třeba posunout o 4 pole doleva ((T0 >> 4)). Dále spodní 3 bity z bytu T1 je potřeba posunout o 4 pole doprava ((T1 & 0x0F) << 4). Jejich spojením se získá celé číslo teploty, které je uloženo ve „whole“.

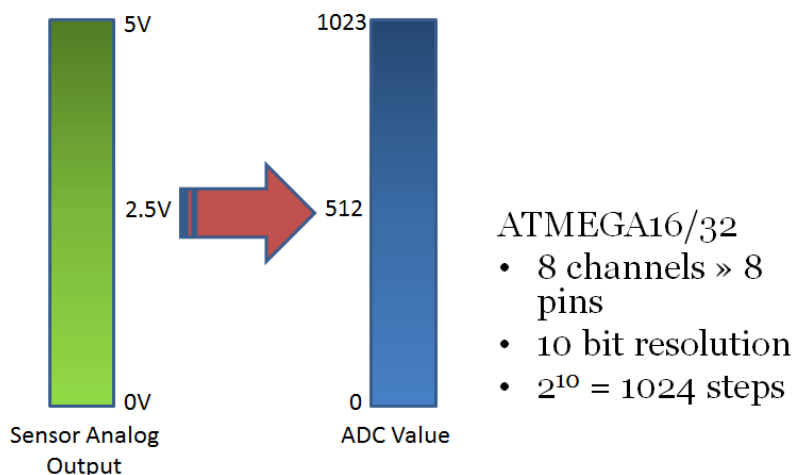
Hodnota bitu 0 je  $2^{-4}$ , která je rovna  $1/16$  nebo  $0,0625 = 625 * 0,0001$ . Takže pokud se vezme hodnota těchto 4 bitů a vynásobí se 625, získá se decimal číslo, které je 10000x větší, takže ve výsledku stačí toto číslo vynásobit číslem 0,0001 a získá se hodnota, která je za desetinnou čárkou měřené teploty. Například, pokud bude binární číslo 0.0101, tak binární číslo 0101 se rovná 5, takže její desetinná hodnota je  $5 * 0,0625 = 0,3125$ .

Celková teplota se získá součtem whole a decimal ( $temp = (*whole) + (*decimal) * 0.0001$ ).

#### 6.4.2 Analogový-Digitální převod

Senzory HIH-4000, TGS4160 a PT1000 mají analogový výstup, takže je potřeba převést analogové data na digitální. Mikroprocesor ATmega16 má zabudovaný ADC, takže není třeba přidávat žádné převodníky, stačí, aby každý analogový senzor byl připojen na jeden z pinů PA0 – PA7. Mikroprocesor je 8 kanálový a vrací 10 bitovou hodnotu.

- 8 kanálový – má 8 ADC pinů, které jsou umístěny na portu PORTA (PA0 – PA7)
- 10 bit rozlišení – vrací 10 bitovou hodnotu a má  $2^{10} = 1024$  rozlišení

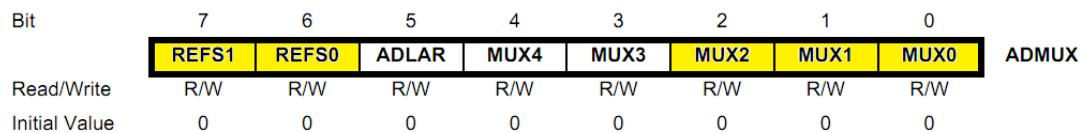


**Obrázek 24: ADC hodnoty senzoru [17]**

Pojem ADC převod by se dal zjednodušeně vyjádřit podle obrázku [Obrázek 24]. Analogová hodnota, která je mezi 0-5V je konvertována na její ADC hodnotu. Rozsah 0-5V je rozdělen do  $2^{10} = 1024$  rozlišení. Vstup hodnoty 0V bude dávat ADC výstup 0, vstup 5V dá ADC výstup 1023.

Prvním částí je nastavení ADC registrů. Jsou jimi registr ADMUX a ADCSRA.

#### 1) ADMUX – ADC spínací výběrový registr



Obrázek 25: ADMUX registr [17]

- **Bity 7:6 – REFS1:0 – Bity vnitřní reference** – tyto bity slouží pro vybrání referenčního napětí. Jejich kombinace je ukázána v následující tabulce.

REFS1	REFS0	Nastavení vnitřní reference
0	0	Vnitřní Vref vypnuto
0	1	Avcc s externím kondenzátorem na Aref pinu
1	0	Rezervovaný
1	1	Vnitřních 2,56V napěťová reference s externím kondenzátorem na Aref pinu

Tabulka 10: Nastavení vnitřní reference [17]

ADC potřebuje referenční napětí, na kterém by pracoval. Pro to existují piny AREF, AVCC a GND. Jsou tři možnosti, jak nastavit vnitřní referenci. První je dodání vlastního referenčního napětí přes AREF a GND. Druhou možností je připojení kondenzátoru přes AREF pin a uzemnit ho, aby se zabránilo hluku, použije se VCC. Poslední možností je, nechat ho nepřipojený, takže je použita vnitřní Vref. [17]

Pro tuto práci se vybrala druhá možnost, kde je použito vstupní napětí  $VCC = 5V$ .

$ADMUX |= (1 \ll REFS0);$

- **Bity 4:0 – MUX4:0 – Analogový kanál a výběr bitu** – zde se nastavuj, který pin je aktivní, tudíž se kterým senzorem se pracuje.

$ch \&= 0b00000111;$   
 $ADMUX = (ADMUX \& 0xF8) | ch;$

#### 2) ADCSRA – ADC řídicí a stavový registr A

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	ADCSRA
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Obrázek 26: ADCSRA registr [17]

- **Bit 7 – ADEN – ADC povolení** – povoluje AD převod

ADCSRA |= (1 << ADEN);

- **Bit 6 – ADSC – Start ADC převod** – před startem převodu se nastaví na 1. Tato 1 je zapsána tak dlouho, dokud převod běží, po skončení převodu se nastaví na nulu. [17]

ADCSRA |= (1 << ADSC);

- **Bit 2:0 – ADPS2:0 – ADC předdělička (prescaler)** – předdělička (dělicí faktor mezi XTAL frekvencí a frekvencí taktu ADC) je určen výběrem správné kombinace podle následující tabulky. Pomocí předděličky se vypočítá rychlost taktovací frekvence pro čítač. [17]

ADPS2	ADPS1	ADPS0	Prescaler
0	0	0	2
0	0	1	2
0	1	0	4
0	1	1	8
1	0	0	16
1	0	1	32
1	1	0	64
1	1	1	128

Tabulka 11: Výběr ADC předděličky [17]

Rychlost taktovací frekvence se vypočítá pomocí frekvence krystalu a předděličky.

V této práci se používá krystal o frekvenci 16MHz a při výběru předděličky hodnoty 128 se rychlost hodin vypočítá podle vzorce:

$$F_{ADC} = \frac{16M}{128} = 125kHz$$

V programu je použit následovně:

```
ADCSRA      |= ( 1 << ADPS2 ) | ( 1 << ADPS1 ) | ( 1 << ADPS0 );
```

- ADCL a ADCH – ADC datové registry – zde je ukládán výsledek ADC převodu. Jelikož ADC má rozlišení 10 bitů, tak vyžaduje 10 bitů k uložení výsledku. Takže pouze jeden 8 bitový registr není dostačující. Proto jsou použity dva registry, a to ADCL a ADCH (ADC Low byte a ADC High byte). Tyt dva registry jsou dohromady nazývány ADC. [17]

Inicializace ADC převodu tedy vypadá takto:

```
ADMUX      |= ( 1 << REFS0 );
ADCSRA      |= ( 1 << ADEN );
ADCSRA      |= ( 1 << ADPS2 ) | ( 1 << ADPS1 ) | ( 1 << ADPS0 );
```

Čtení ADC hodnoty:

```
uint16_t adc_read(uint8_t ch)
{
    ch &= 0b00000111;
    ADMUX = (ADMUX & 0xF8) | ch;
    ADCSRA |= (1 << ADSC);
    while(ADCSRA & (1 << ADSC));
    return (ADC);
}
```

### 6.4.3 Nastavení sériového portu

Pro správnou komunikaci sériové linky bylo potřeba ji zinicilizovat, to znamená, nastavit požadovanou rychlost, kterou musí obě zařízení respektovat. Modul je nastaven na rychlost 57600 bit/s, 8 bitů, 1 stop bit. Pro správné čtení, odesílání dat, se rychlost musí nastavit do registru:

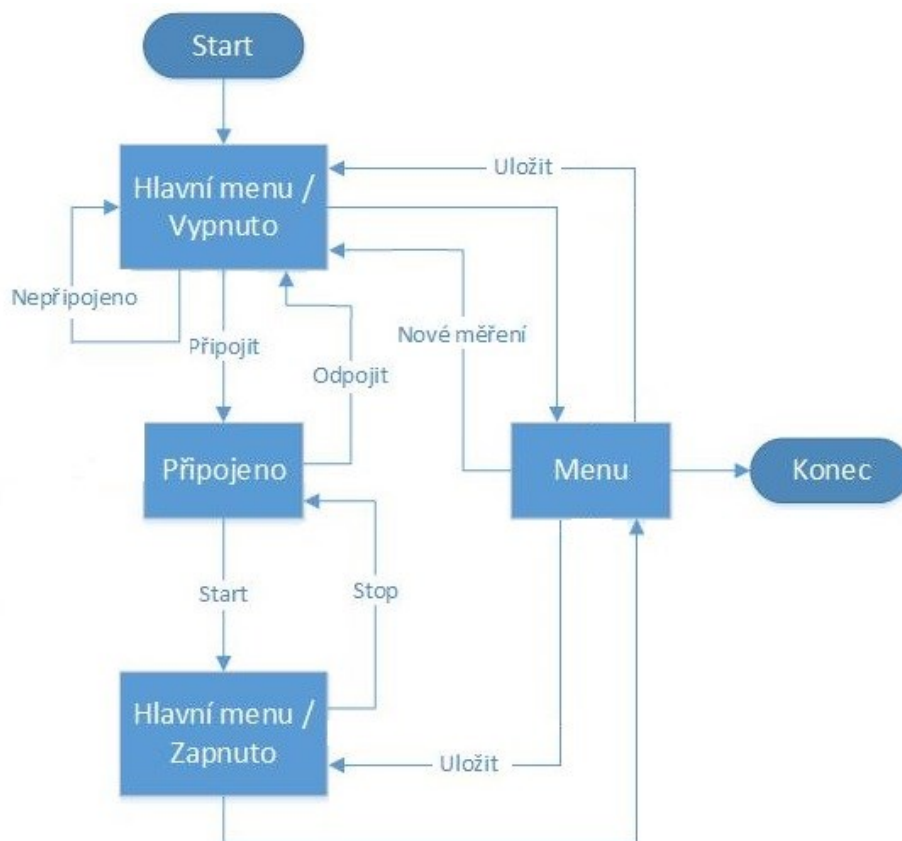
$$BaudRate = \frac{f_{osc}}{16 \cdot BAUD} - 1 = \frac{16000000}{16 \cdot 57600} - 1 \cong 16$$

V programu se rychlost nastaví pomocí následujícího kódu

```
volatile uint16_t BaudRate = 16;
UCSRB |= ( 1 << RXEN ) | ( 1 << TXEN );
UCSRB |= ( 1 << RXCIE );
UCSRC |= ( 1 << URSEL ) | ( 3 << UCSZ0 );
UBRRH |= BaudRate >> 8;
UBRRL |= BaudRate & 0x00FF;
```

## 6.5 Uživatelské rozhraní

Všechny data získané ze senzorů se zobrazují v uživatelském rozhraní, které je vytvořené v programu Visual Studio 2013 v jazyce C#. Jednotlivé stavy programu jsou popsány ve stavovém diagramu.



Obrázek 27: Stavový diagram uživatelského rozhraní

Hodnoty jsou vykreslovány v reálném čase. Maximální čas pro vykreslování hodnot je třicet minut, poté se grafy začnou posunovat s každou přibývajícím hodnotou. Vzhled uživatelského rozhraní je v příloze V.

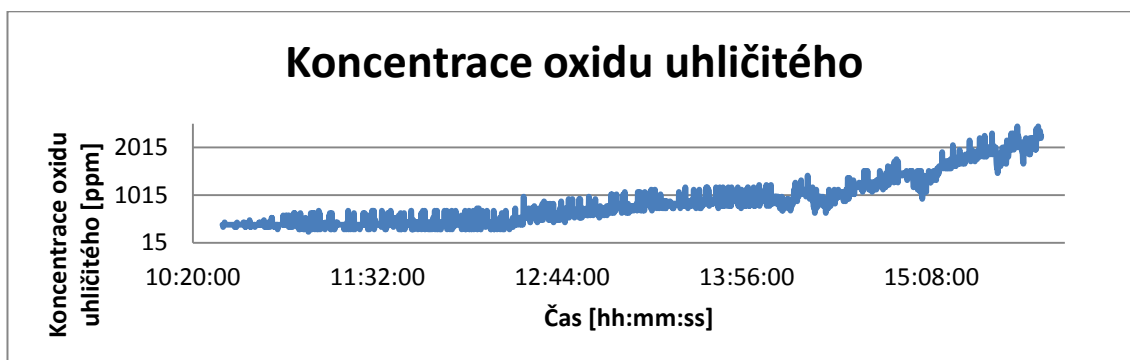
Všechny hodnoty se dají uložit najednou nebo postupně s každou přibývajícím hodnotou. Formát uloženého dokumentu je csv.



## 7. Test přenosu dat

Test celého zařízení byl proveden v domácím prostředí, v pokoji, kde se střídaly osoby. Testem bylo třeba zjistit, zda zařízení dokáže měřit po celou dobu správné hodnoty veličin, jestli nenastanou žádné problémy, jak na straně hardwaru, tak na straně softwaru. Dalším bodem se testovalo, jak dlouho vydrží zařízení pracovat na plně nabitou baterii.

První test byl prováděn se čtyřmi tužkovými bateriemi, jako zdroj napětí. Použily se baterie Maxell alkaline 1,5V. Cílem bylo zjistit, jak dlouho by zařízení bylo schopno pracovat na těchto čtyřech bateriích, jejíž kapacita je neznámá. Jelikož modul pro měření koncentrace oxidu uhličitého má odběr 240 mA, neočekávalo se, že by přístroj dokázal měřit víc, jak pár hodin. Zařízení bylo spuštěno na plně nabitě baterie v 10:31:32 hodin a trvalo do plného vybití baterií, které nastalo v 15:50:51.



Obrázek 28: Koncentrace oxidu uhličitého

Z naměřených hodnot koncentrace oxidu uhličitého jde vidět, že zařízení správně měřilo přibližně dvě a půl hodiny, poté začala koncentrace rychle stoupat, díky rychlému úbytku napětí na bateriích. Tak malý čas měření není žádáný, tudíž se musel vybrat druhý napájecí zdroj, a to olověný akumulátor Shimastu NPG5-6, který má kapacitu 5Ah.

Typ	Odebíraný proud
DS18B20	4x 1,5 mA
HIH-4000	500 $\mu$ A
CDM4160	250 mA
PT1000	1 mA
OEMSPA311	55 mA
Sunon 5V	75 mA
ATmega16a	1,1 mA
Celkem	391,6 mA

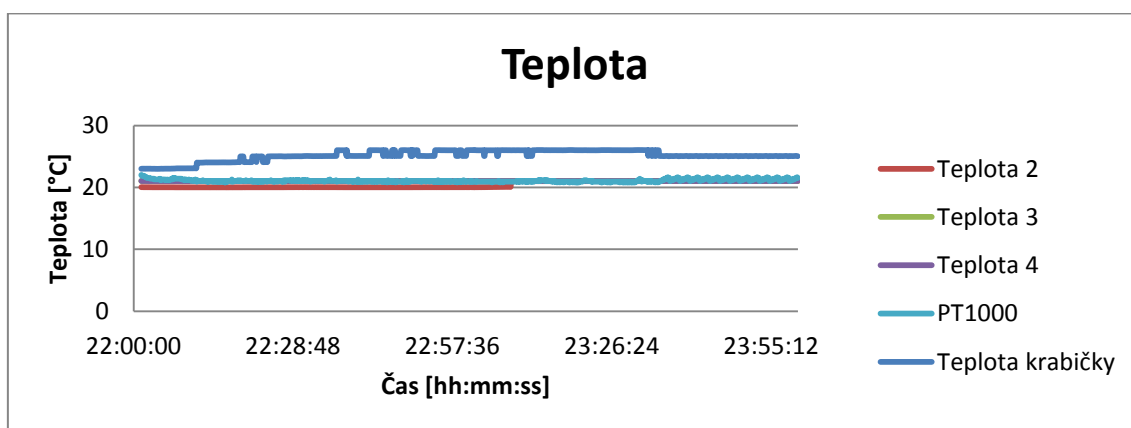
Tabulka 12: Přibližný celkový odběr měřicího zařízení

Podle přibližného odběru se dá vypočítat přibližná délka správného fungování měřicího zařízení, ta se vypočítá následujícím vzorcem:

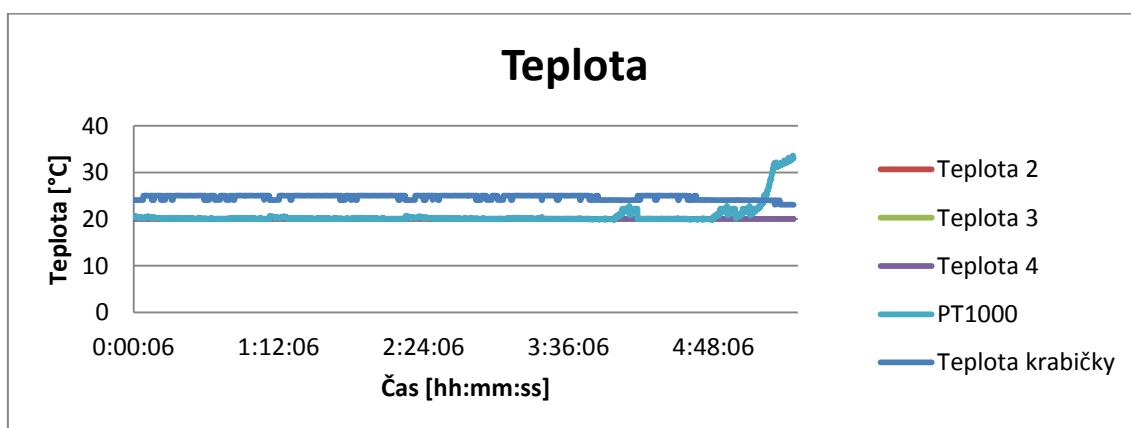
$$t = \frac{5000}{391,6} = 12,7 \text{ hodin}$$

Teoretickým výsledkem je, že zařízení by mělo správně fungovat 12,7 hodin.

Druhý test začal v 22:01:23 hodin a pracoval do doby, kdy přestal fungovat modul Bluetooth, to nastalo v 17:13:21 hodin následujícího dne. Zařízení tedy celkově pracovalo okolo devatenácti hodin, jenomže správné hodnoty měření se posílaly přibližně do 5:15 hodin. Od té doby se začalo zmenšovat napětí baterie a díky tomu i přesnost senzorů. Nejvíc chybné byly senzory CDM4160 a obvod pro PT100. Vše je vyobrazeno v následujících grafech.



Obrázek 29: Hodnoty teplot - 1

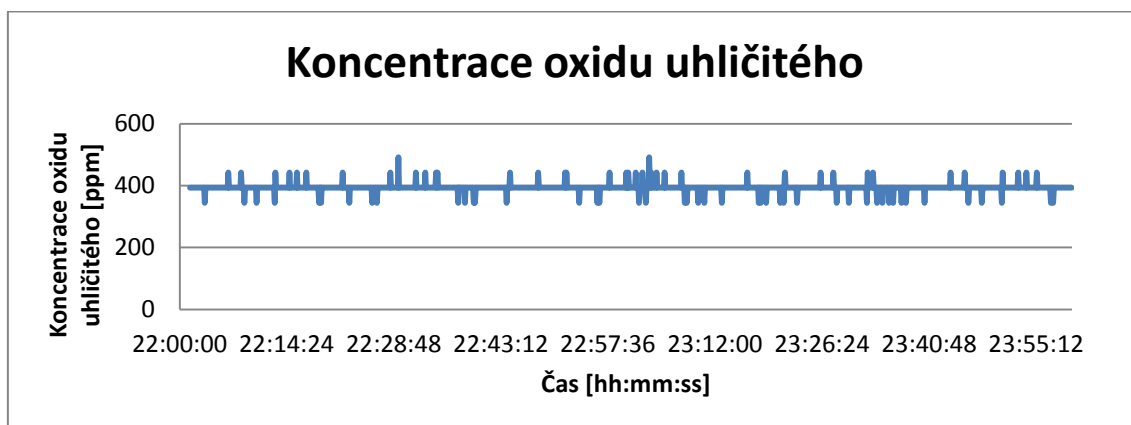


Obrázek 30: Hodnoty teploty - 2

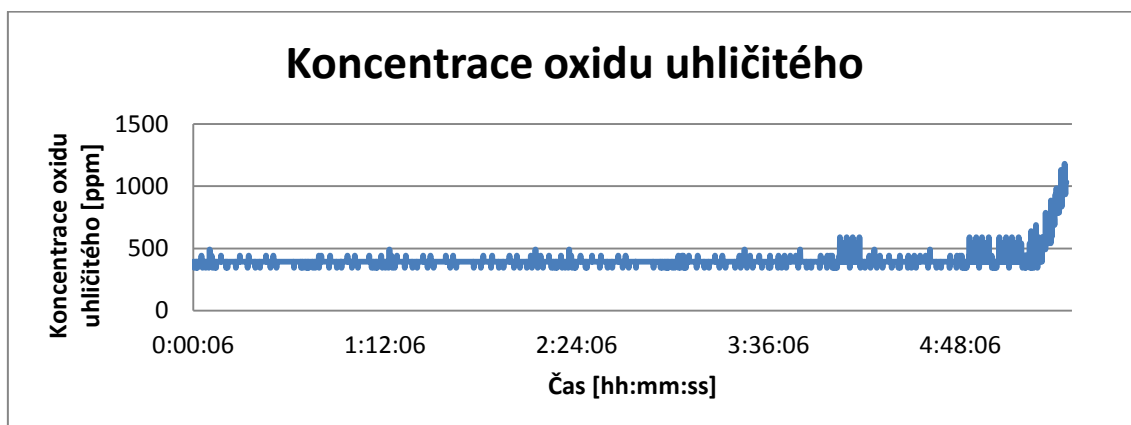
Senzory DS18B20 byly jediné, které dokázaly měřit správné hodnoty v celém průběhu měření. Tři senzory teploty a senzor PT1000, které jsou umístěné mimo zařízení, měřily po celou dobu sobě rovnou teplotu, zatímco senzor umístěný uvnitř krabičky se vždy lišil o pár

stupňů. To mohlo být způsobeno zahřátím desky plošného spoje, kterou mohou způsobit stabilizátory.

Při chybějícím napětí 5V senzor PT1000 nejdříve stoupl na teplotu přibližných 34°C a poté, postupem času, začal snižovat až do konečné hodnoty -14°C. Tímto šlo vidět, že senzor je náchylný na zapojený obvod, pomocí kterého měří.

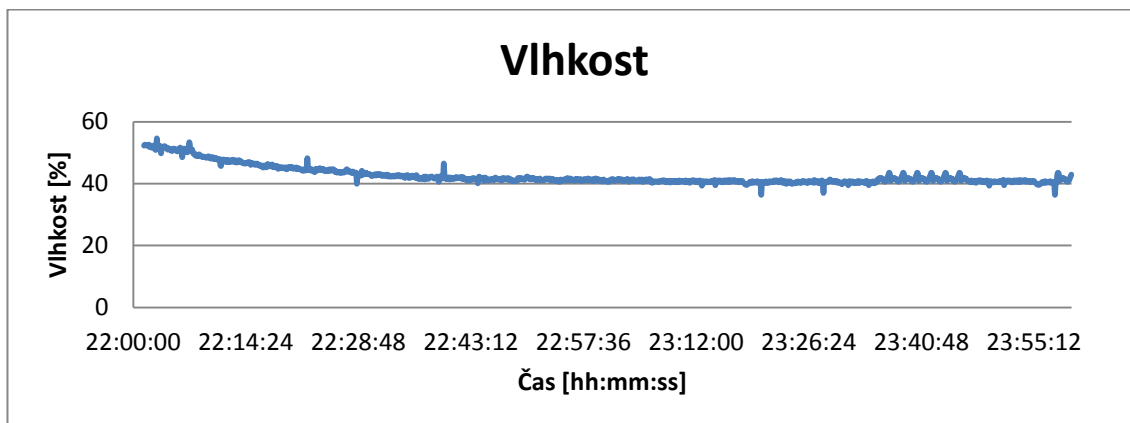


Obrázek 31: Koncentrace oxidu uhličitého – 1

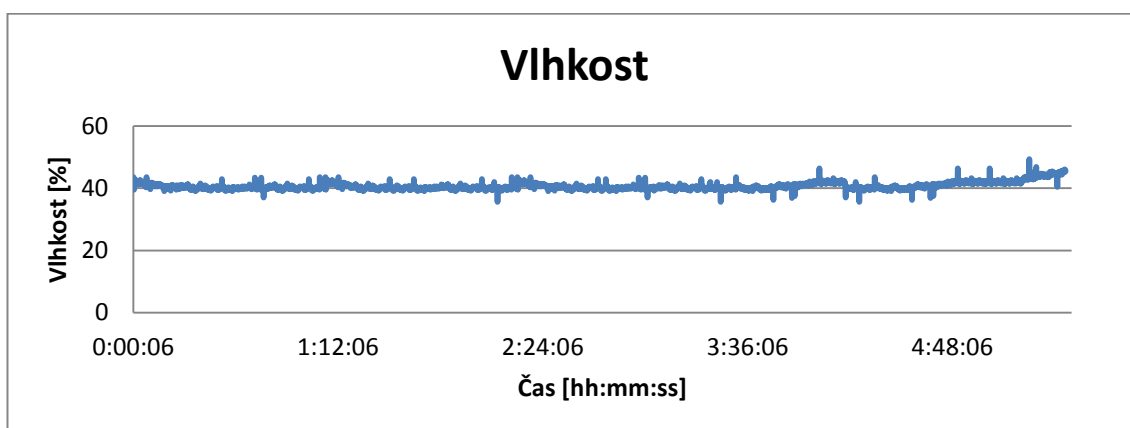


Obrázek 32: Koncentrace oxidu uhličitého - 2

Modul pro měření koncentrace oxidu uhličitého byl na tom podobně jako senzor PT1000. Po přibližně sedmi hodinách, kde se zmenšovalo vstupní napětí, jeho hodnoty začaly postupem času stoupat do 12000 ppm, kde přestal měřit. To nastalo kolem sedmnácté hodiny. Senzor je tedy také náchylný na vstupní napětí, které by mělo být velikosti 5V, při změnách napětí se hodnoty koncentrace oxidu uhličitého začnou lišit od reálných hodnot.



**Obrázek 33: Hodnoty vlhkosti - 1**



**Obrázek 34: Hodnoty vlhkosti - 2**

Senzor vlhkosti HIH-4000 byl na tom podobně jako senzory DS18B20. Fungoval po celou dobu měření a dokázal měřit přibližně stejné hodnoty.

Modul Bluetooth díky nejmenšímu pracovnímu napětí, které je 3,3V, přestal pracovat v 17:13:21 hodin, tedy po více jak sedmnácti hodinách provozu.

## 8. Závěr

Výsledkem mé práce je funkční měřicí zařízení pro telemetrii dat při dlouhodobém pobytu v poláriu. Zařízení má rozměry cca 14x9x6,5cm a jeho součástí je baterie o rozměrech cca 7x4,5x10cm. Pro správné měření teploty v poláriu, bylo potřeba najít senzor, který dokáže pracovat v těchto teplotních podmínkách. Pro tyto podmínky jsem vybral platinový odporový senzor PT1000. Aby bylo možné získávat data ze senzorů, bylo potřeba vytvořit měřicí program pro mikrokontrolér, který data zpracuje a pomocí modulu Bluetooth je přenese do počítače, kde jsou následně vyobrazeny. Další částí tedy bylo vytvoření programu pro vykreslení a zobrazení naměřených dat v reálném čase.

Tato práce je rozšířením první verze zařízení, která sloužila pro provedení experimentu dlouhodobého pobytu osoby v poláriu, v lázních Teplice nad Bečvou (12.1.2015), u něhož jsem byl přítomen při prvotním návrhu a částečné realizaci. Díky tomu se ověřilo, zda zařízení, tedy i všechny komponenty, pracují správně.

Test přenosu dat byl uskutečněn v domácích podmínkách, kde zařízení bylo přibližně 5 metrů od počítače s Bluetooth modulem. Se zvětšující se vzdáleností byl signál mezi moduly horší, až nakonec nedocházelo k jejich spojení. To by se dalo vyřešit použitím novějších verzí Bluetooth, jako jsou verze 3.0 a 4.0, které mají možnost pracovat na větší vzdálenosti, než zde používaná verze 2.0. Druhou možností je místo Bluetooth použít WiFi antény, díky kterým by se zvýšila rychlost přenosu dat i možná vzdálenost komunikace.

Měřicí zařízení dokáže na baterii Shimastu NPG5-6 pracovat devatenáct hodin, než dojde k vyčerpání její kapacity. Bohužel po tuto dobu dokáže měřit pouze senzory teploty a senzor vlhkosti. Doba, po kterou všechny senzory naměří správnou hodnotu, je přibližných sedm hodin. Od té doby začne senzor oxidu uhličitého a senzor teploty PT1000 měřit nesprávné hodnoty, v důsledku menšího napájecího napětí, který dodává vybíjejí baterie.

## Seznam použité literatury

- [1] HUNN, Nick. *Essentials of short-range wireless*. New York: Cambridge University Press, c2010, xiii, 332 p. Cambridge wireless essentials series. ISBN 0521760690.
- [2] SVOBODA, J – SVOBODA, J. Principy a perspektivy technologie Bluetooth. Sdělovací technika. 2004, roč. 52, č. 8, s. 3-6. ISSN 0036-9942.
- [3] HEYDON, Robin. *Bluetooth low energy: the developer's handbook*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2012, 345 p. ISBN 9780132888363.
- [4] ROZMAN, Jiří, Petr SADOVSKÝ a David ČERMÁK. *Diagnostika životního prostředí*. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Ústav biomedicínského inženýrství, 2000, 136 s. ISBN 80-214-1771-4.
- [5] Wireless Transmission. [cit. 2014-11-23].  
[http://www.tutorialspoint.com/data\\_communication\\_computer\\_network/wireless\\_transmission.htm](http://www.tutorialspoint.com/data_communication_computer_network/wireless_transmission.htm)
- [6] ČÁNSKÝ, Jiří. Mobilní komunikace: Bluetooth. In: [online]. [cit. 2014-12-28]. Dostupné z: [http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK06\\_semestralky/Bluetooth\\_CanskyJ.pdf](http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK06_semestralky/Bluetooth_CanskyJ.pdf)
- [7] *Měření vlhkosti vzduchu* [online]. In: . [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: <http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/cviceni/Navody%20na%20cviceni/07.Mereni%20vlhkosti.pdf>
- [8] HAVLÍČKOVÁ. Vliv snížené teploty prostředí. In: [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://is.muni.cz/elportal/estud/fsps/js07/fyzio/texty/ch09s03.html>
- [9] Kryoterapie. [cit. 2014-12-04]. <<http://kryo-terapie.cz/kryoterapie/>>
- [10] Lokální kryoterapie. [cit. 2014-12-04]. <http://kryo-terapie.cz/kryoterapie/lokalni-kryoterapie/>
- [11] Celotělová kryoterapie. [cit. 2014-12-04]. <http://kryo-terapie.cz/kryoterapie/celotelova-kryoterapie/>
- [12] Kryosauna. [cit. 2014-12-05]. <http://www.solankazlin.cz/kryosauna/kryosauna-kryoterapie-polarium-cryosauna-kryokomora-terapie-mrazem>
- [13] Kryoterapie. [online]. [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: [http://www.kryokomory.cz/images/katalogy/katalog\\_kryo.pdf](http://www.kryokomory.cz/images/katalogy/katalog_kryo.pdf)
- [14] SMUTNÝ, Lubomír. Snímače teploty – současný stav a směry vývoje. [online]. [cit. 2014-12-27]. Dostupné z: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=34041](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=34041)
- [15] ADÁMEK, Martin. Odporové senzory teploty. In: [online]. [cit. 2014-12-27]. Dostupné z: [http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s\\_3\\_2\\_4.htm](http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s_3_2_4.htm)
- [16] ŠPRINGL, Vít. Měření teploty - kovové odporové senzory teploty. In: [online]. [cit. 2014-12-27]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/mereni-teploty-kovove-odporove-senzory-teploty.html>
- [17] MIAGGI, Max. The ADC of the AVR: Analog to Digital Conversion. In: [online]. [cit. 2015-04-02]. Dostupné z: <http://maxembedded.com/2011/06/the-adc-of-the-avr/>
- [18] Termoelektrické snímače teploty. In: [online]. [cit. 2014-12-28]. Dostupné z: <http://www.technotrend.cz/stranky/teorie/teorie2.htm>

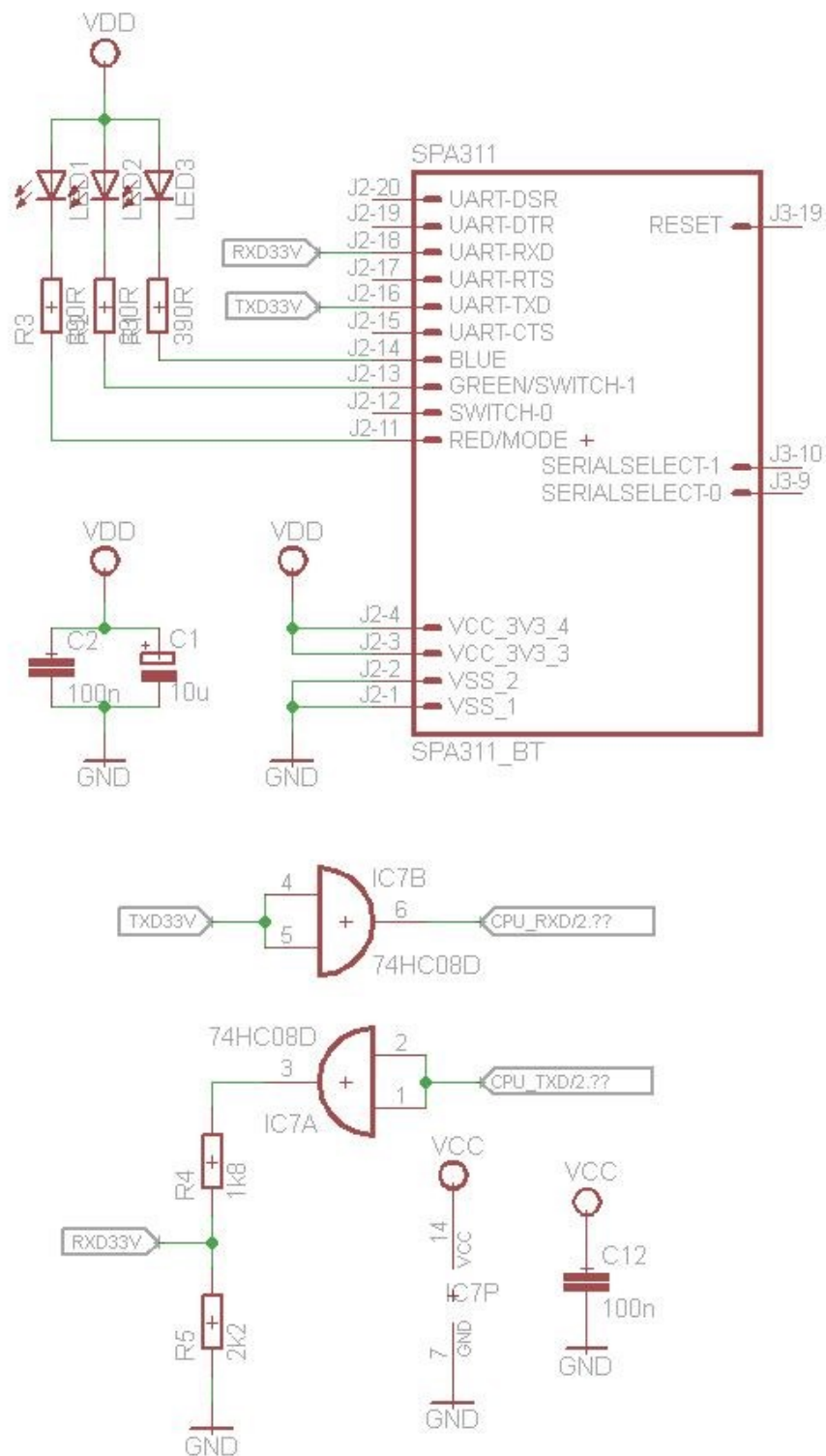
- [19] Snímače teploty. In: [online]. [cit. 2014-12-28]. Dostupné z: <http://automatizace-issnp.wz.cz/Soubory/Snimace%20teploty.pdf>
- [20] *Datasheet for DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer*, Maxim Integrated, 2008
- [21] *Datasheet for HIH-4000 Series Humidity sensor*, Honeywell, 1985 Douglas Drive North
- [22] *Datasheet for CDM4160 - Pre-calibrated module for carbon dioxide*, FIGARO ENGINEERING INC., REV: 12/05
- [23] *Electrical & Mechanical Datasheet for OEM Serial Port Adapter*, Copyright © 2006 connectBlue AB., 2007-10
- [24] ŠUBRTA, Roman. Mikroklima ve veřejných budovách jako důvod instalace rekuperace. In: [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.e-c.cz/download1.php?id=131>
- [25] Teplota a její měření. In: [online]. [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: [http://artemis.osu.cz:8080/artemis/uploaded/199\\_1\\_1%20Termodynamika.pdf](http://artemis.osu.cz:8080/artemis/uploaded/199_1_1%20Termodynamika.pdf)
- [26] HANZAL, Josef. Vlhkoměry. [online]. [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/vlhkomery.html-0>
- [27] Pt1000 Temperatursensor. [online]. [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.umnicom.de/Elektronik/Schaltungssammlung/Temperatur/Pt1000/Pt1000.html#7.3.6>
- [28] HALL, Bruce E. *Build a DualTemperature Maxim DS18B20 Thermometer* [online]. In: . [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: <http://w8bh.net/avr/AvrTherm1.pdf>

## Seznam příloh

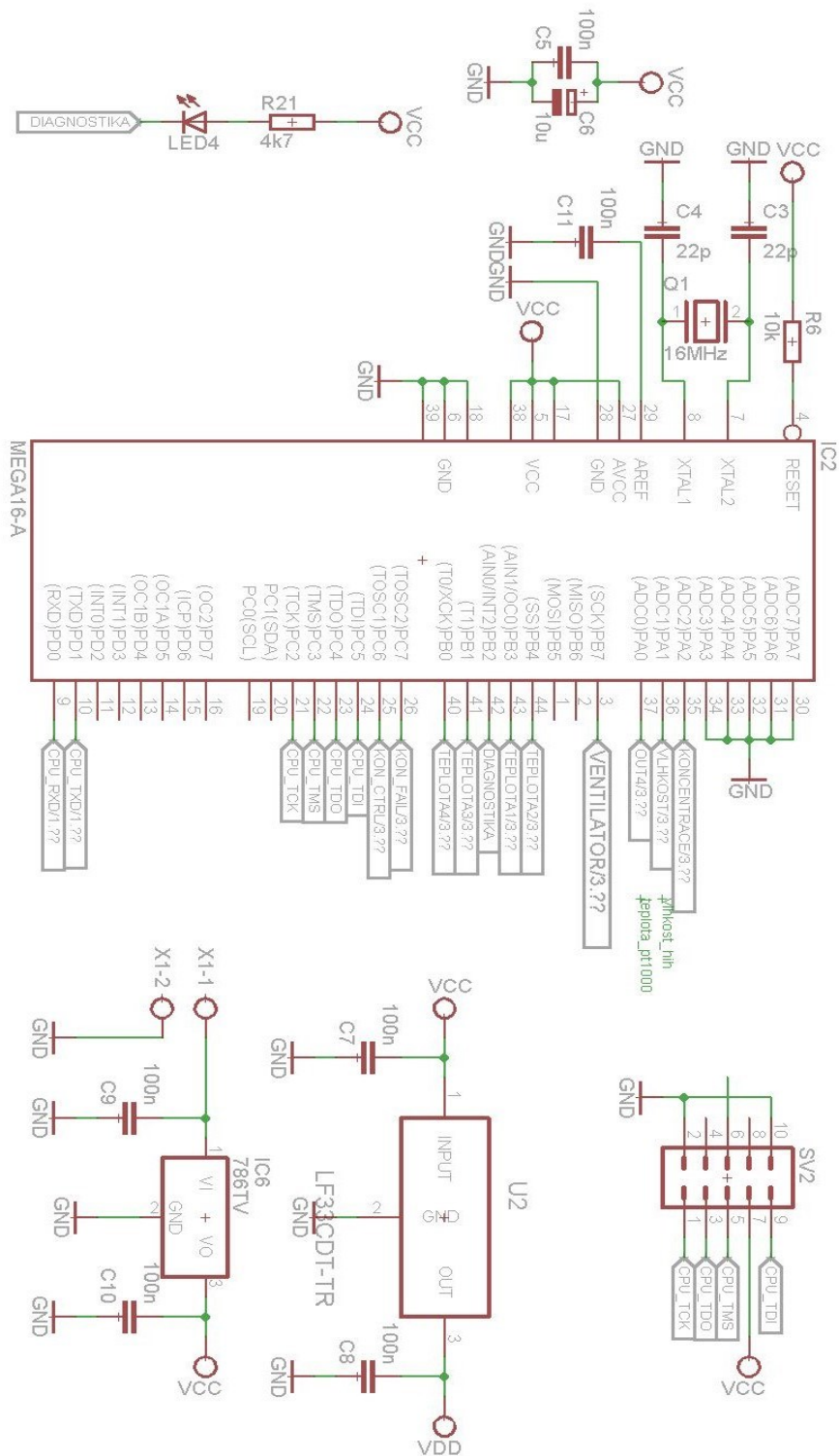
Příloha I. Elektrické schéma modulu Bluetooth.....	47
Příloha II. Elektrické schéma mikrokontroléru .....	48
Příloha III. Elektrické schéma senzorů .....	49
Příloha IV. Deska plošného spoje .....	50
Příloha V. Okno uživatelského rozhraní při měření.....	51



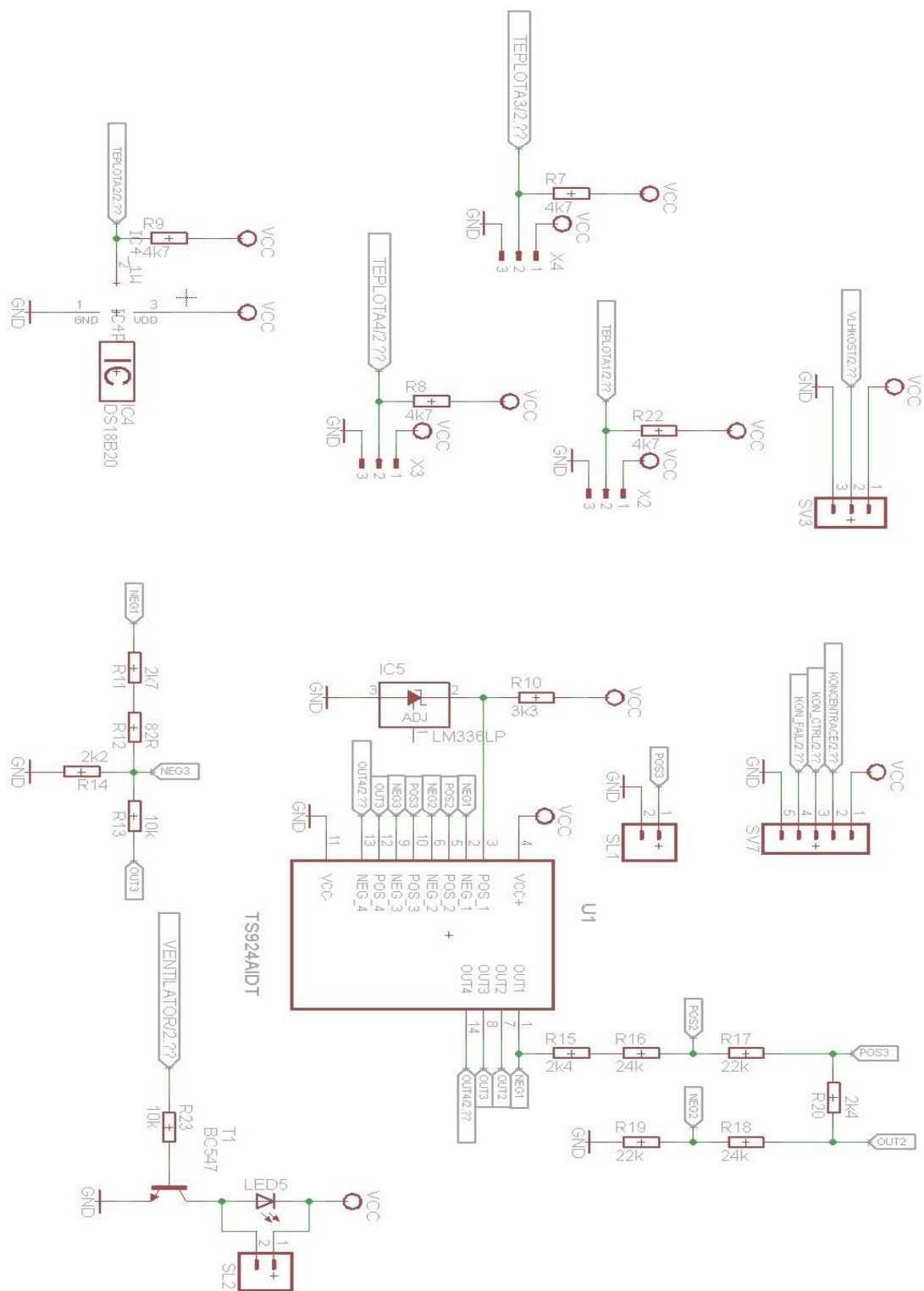
## Příloha I. Elektrické schéma modulu Bluetooth



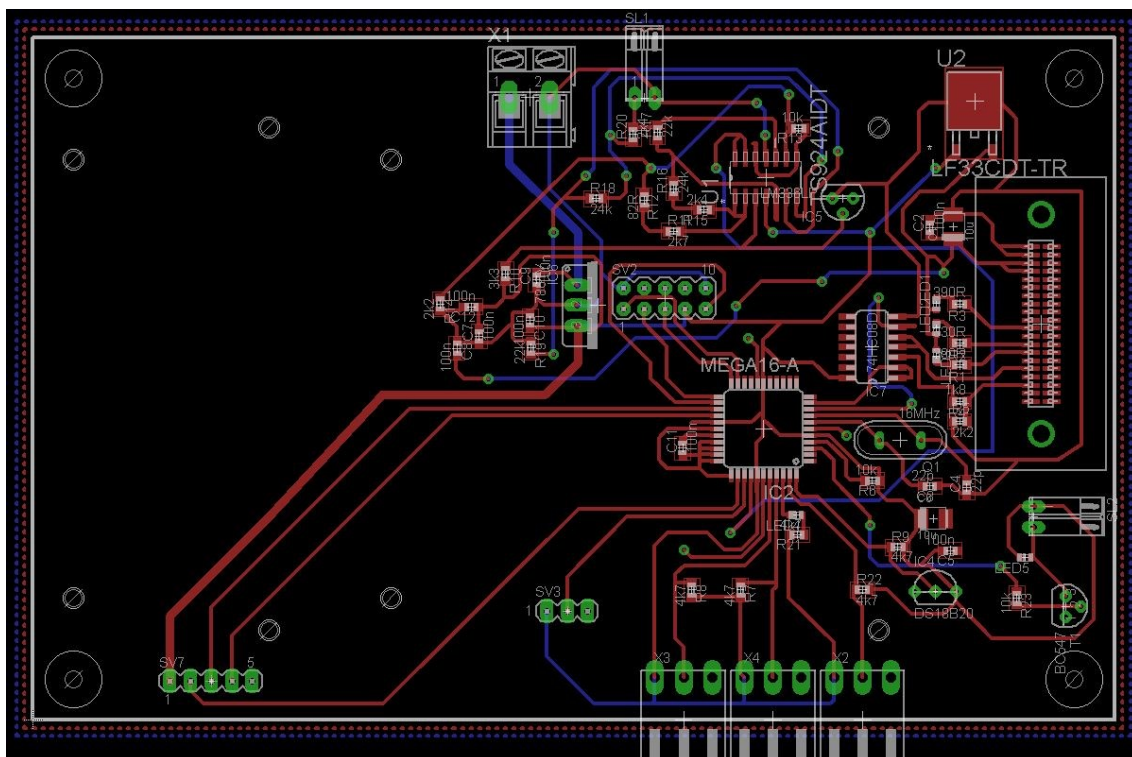
## Příloha II. Elektrické schéma mikrokontroléru



## Příloha III. Elektrické schéma senzorů



## Příloha IV. Deska plošného spoje



## Príloha V. Okno užívateľského rozhraní pri meraní

